

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

К защите допустить

Зав. кафедрой

доцент Губенко В.А.

«___» _____ 2012_ г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
на тему «АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОЛЯ
СИСТЕМЫ WI-FI В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ»**

Выпускник	_____	Салимов Б.А. _____
	подпись	Ф.И.О.
Руководитель	_____	Шахобиддинов А.Ш. _____
	подпись	Ф.И.О.
Рецензент	_____	Азимов У.А. _____
	подпись	Ф.И.О.
Консультант по БЖД	_____	Қодиров Ф.М. _____
	подпись	Ф.И.О.

Ташкент – 2012 г.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена анализу распределения уровней поля системы Wi-Fi в городских условиях.

В работе рассмотрены основы беспроводной передачи данных, структура сети Wi-Fi, его топология, основные требования к оборудованию, методы расчета уровней поля в беспроводных каналах связи.

В работе также осуществлен расчет канала связи и анализ карты зоны покрытия сети в городских условиях.

Ушбу битирув малакавий иши Wi-Fi тизимида шаҳар шароитида майдон сатхлари тақсимотининг таҳлилига бағишланган.

Ишда маълумотларни симсиз узатиш асослари, Wi-Fi тармоғи тузилиши, унинг топологияси, қурилмаларга қўйиладиган асосий талаблар, симсиз алоқа каналларида майдон сатхларини ҳисоблаш усуллари кўриб чиқилган.

Ушбу иш доирасида симсиз алоқа каналининг ҳисоби ҳамда шаҳар шароитида қамров ҳудуди харитасининг таҳлили амалга оширилган.

This final qualification work is devoted to analysis of field strength levels distribution of Wi-Fi system in urban environment.

In this work bases of wireless data transmission, structure of Wi-Fi networks, topology, the basic requirements to equipments and the methods of calculation of field strength levels in wireless communication channels are considered.

In work calculation of a communication channel and the analysis of a card of a coverage zone of a network in city conditions also is carried out.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ WI-FI.....	7
1.1. Передача данных в системе Wi-Fi.....	7
1.2. Общие требования к сетям Wi-Fi.....	9
1.3. Структура сети Wi-Fi.....	12
1.4. Стандарты протоколов Wi-Fi.....	15
1.5. Оборудование Wi-Fi и требования к его основным узлам.....	17
1.5.1. Точки доступа Wi-Fi.....	18
1.5.2. Wi-Fi адаптеры.....	19
1.6. Ретрансляторы Wi-Fi.....	20
1.7. Преимущества и недостатки системы Wi-Fi.....	27
2. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ.....	30
2.1. Методы моделирования каналов связи в городских условиях.....	30
2.2. Методы моделирования каналов связи внутри зданий.....	34
2.2.1. Волноводная модель радиоканалов внутри зданий.....	36
2.2.2. Энергетическая формулировка волноводной модели.....	38
3. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОЛЯ СИСТЕМЫ WI-FI В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ.....	43
3.1. Постановка задачи.....	43
3.2. Расчет зоны действия сигнала.....	44
3.3. Результаты расчета зоны покрытия системы Wi-Fi.....	48
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	52
4.1. Охрана труда при работе с передающими станциями.....	52
4.2. Воздействие электромагнитных полей, оптических и ионизирующих излучений на организм человека.....	53
4.3. Организационные и технические меры защиты от электромагнитных излучений.....	56
4.4. Влияние излучения систем Wi-Fi на здоровье человека.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	64
ЛИТЕРАТУРА.....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	67

ВВЕДЕНИЕ

В своём выступлении на заседании Кабинета Министров, посвященном итогам развития Узбекистана в 2011 году и приоритетам на 2012 год, Президент Ислам Каримов уделил особое внимание развитию современных компьютерных и телекоммуникационных систем и технологий. В выступлении сказано «Как положительную тенденцию, отвечающую требованиям сегодняшнего дня, следует отметить ускоренный рост услуг связи и информатизации, которые за год возросли на 41,6 %. Это обеспечено в первую очередь за счет увеличения количества абонентов, пользующихся услугами мобильной связи и сети Интернет, чему способствовало принятие мер в 2011 году по снижению тарифов для населения на услуги по предоставлению доступа в Интернет» [1].

На предприятиях и в жилых домах мобильный доступ к информационным ресурсам приобретает все большую популярность. Многие люди уверены в перспективности беспроводной коммерции и очень высоко оценивают возможности радиосвязи в плане повышения производительности своего труда. Однако отделить связанную с этим громкую рекламную шумиху от реальности совсем непросто. Стандарты непрерывно развиваются, но явных лидеров в области беспроводных технологий пока ещё нет.

В настоящее время разрабатывается множество различных беспроводных систем. И хотя мобильность является ключевой характеристикой многих из них, рынок этих систем развивается в направлении расширения диапазона предлагаемых пользователю услуг, а не просто улучшения доступности связи для мобильных пользователей. Что же касается высокой скорости передачи данных, то в этом отношении для предприятий разных масштабов и поставщиков услуг большой интерес могут представлять фиксированные радиосистемы.

Разрабатываемые в настоящее время беспроводные сети третьего поколения и микробраузеры создают основу для новой технологической революции. Однако не следует думать, что она произойдёт очень скоро.

Беспроводные сети можно разделить на сети малого радиуса действия, нередко называемые персональными (Personal Area Networks), беспроводные ЛВС, системы фиксированного радиодоступа и беспроводные территориально распределённые сети (WAN). Благодаря широкой поддержке производителями ключевых стандартов и снижению цен эти сети получают все более широкое распространение. Также растёт спрос на системы фиксированного радиодоступа, которые основаны на самых разных технологиях (в том числе спутниковых) и работают в лицензируемых и нелицензируемых диапазонах частот (некоторые из этих систем называют беспроводными DSL-системами). И наконец, на основе беспроводных WAN-сетей, представляющих собой следующее поколение сотовых систем, со временем может быть реализован глобальный мобильный доступ к данным.

Необходимо отметить, что Ташкент занимает одну из высоких мест в списке городов стран СНГ по развитию беспроводной сети стандарта Wi-fi. Учитывая существующую нарастающую востребованность в сетях беспроводного доступа передачи данных, анализ и исследование особенностей распределения уровней поля систем Wi-fi в городских условиях является актуальной.

В этой связи, надеемся, что данная работа будет иметь также практическую ценность.

1. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ WI-FI

1.1. Передача данных в системе Wi-Fi

Одним из решений организации беспроводной сети передачи данных стала сеть построенная на основе Wi-Fi. Wi-Fi (англ. Wireless Fidelity — «беспроводная точность») — стандарт на оборудование Wireless LAN [2]. Большинство современных портативных устройств (ноутбуки, КПК, смартфоны) уже имеют встроенные средства для работы в беспроводных сетях.

Установка Wireless LAN рекомендуется там, где развёртывание кабельной системы невозможно или экономически нецелесообразно. Благодаря функции хендвера пользователи могут перемещаться между точками доступа по территории покрытия сети Wi-Fi. Но при хендвере с одной точки к другой связь ненадолго прерывается. Wi-Fi имеют ограниченный радиус действия. Типичный домашний Wi-Fi маршрутизатор стандарта 802.11b или 802.11g имеет радиус действия 45 м в помещении и 90 м снаружи.

Процесс передачи и приема информации посредством системы *Wi-Fi* происходит посредством радиоволн. Несколько одновременных вещаний могут происходить без обоюдного вмешательства благодаря тому, что радиоволны передаются по разным радиочастотам, известным также как каналы. Для осуществления передачи информации *Wi-Fi* устройства должны «наложить» данные на радиоволну, также известную как несущая волна. Этот процесс называется модуляцией.

Существуют различные типы модуляции. Каждый тип модуляции имеет свои преимущества и недостатки с точки зрения эффективности и требований к питанию. Вместе, рабочий диапазон и тип модуляции, определяют физический уровень данных (PHY) для стандартов передачи данных. Продукты совместимы по PHY в том случае, когда они используют один диапазон и один тип модуляции. Wi-Fi сеть- это сеть построенная на стандарт

IEEE 802.11. (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Для полного понятия этого стандарта нам необходимо вернуться в прошлое и посмотреть историю возникновения.

Впервые этот стандарт был упомянут в 1990 году и в том же году был создан комитет по стандартам IEEE 802 одновременно выделили группу по стандартам для беспроводных локальных сетей 802.11. Wi-Fi был создан в 1991 NCR Corporation/AT&T (впоследствии — Lucent и Agere Systems) в Ньивегейн, Нидерланды. Вик Хейз (Vic Hayes) — создатель Wi-Fi — был назван «отцом Wi-Fi» и находился в команде, участвовавшей в разработке таких стандартов, как IEEE 802.11b, 802.11a и 802.11g. Эта группа занялась разработкой всеобщего стандарта для радиооборудования и сетей, работающих на частоте 2,4 ГГц, со скоростями доступа 1 и 2 Mbps (Megabits-per-second).

Используемые технологические схемы модуляции стандарта: псевдослучайная перестройка рабочей частоты (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum) и широкополосная модуляция с прямым расширением спектра (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum). Работы по созданию стандарта были завершены через 7 лет, и в июне 1997 года была ратифицирована первая спецификация 802.11. Стандарт IEEE 802.11 являлся первым стандартом для продуктов WLAN от независимой международной организации, разрабатывающей большинство стандартов для проводных сетей. Однако к тому времени заложенная первоначально скорость передачи данных в беспроводной сети уже не удовлетворяла потребностям пользователей. Для того чтобы сделать технологию Wireless LAN популярной, дешёвой, а главное, удовлетворяющей современным жёстким требованиям бизнес-приложений, разработчики были вынуждены создать новый стандарт.

Таким образом, каждый стандарт беспроводной передачи данных стандарта IEEE 802.11 имеет свои преимущества и недостатки, о котором речь пойдет в отдельном параграфе.

1.2. Общие требования к сетям Wi-Fi

Установка Wi-Fi рекомендуется там, где развёртывание кабельной системы невозможно или экономически нецелесообразно. Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Точка доступа – это беспроводная базовая станция, предназначенная для обеспечения беспроводного доступа к уже существующей сети (беспроводной или проводной) или создания совершенно новой беспроводной сети [3].

Режим Ad-hoc (иначе называемый «точка-точка», см. рис.1.1) - это простая сеть, в которой связь между станциями (клиентами) устанавливается напрямую, без использования специальной точки доступа.

В режиме клиент-сервер беспроводная сеть состоит, как минимум, из одной точки доступа, подключенной к проводной сети, и некоторого набора беспроводных клиентских станций, такой способ изображен на рис.1.2. Поскольку в большинстве сетей необходимо обеспечить доступ к файловым серверам, принтерам и другим устройствам, подключенным к проводной локальной сети, чаще всего используется режим клиент-сервер.

При топологии «точка-точка» (режим Ad-hoc в Wi-Fi сетях) организуется радиомост между двумя удаленными сегментами сети. При топологии «звезда» одна из станций является центральной и взаимодействует с другими удаленными станциями. При этом центральная станция имеет всенаправленную антенну, а другие удаленные станции - однонаправленные антенны.

Радиус действия стандартной точки доступа - примерно 200-250 метров, при условии, что на этом расстоянии не будет никаких препятствий (например металлоконструкций, перекрытий из бетона и прочих сооружений плохо пропускающих радио волну).

К каждой точке доступа можно подключить до 254 клиентских компьютеров. В большинстве случаев нецелесообразно подключать к одной

точке доступа больше 10 компьютеров, т.к. скорость передачи данных на каждого пользователя распределяется в равных пропорциях и чем больше у одной точки доступа «клиентов», тем меньше скорость у каждого из них.

При построении территориально распределенных сетей или беспроводных сетей в зданиях, точки доступа объединяются в одну общую сеть через радиоканал или локальную сеть (проводную). При этом пользователь может свободно перемещаться со своим мобильным устройством в радиусе действия этой сети.

Точка доступа аналогична по своему устройству с беспроводным роутером (беспроводным маршрутизатором). Беспроводные роутеры используются для создания отдельного сегмента сети и поддерживают подключение к ним всех компьютеров со встроенными беспроводными сетевыми адаптерами.

В отличие от точки доступа в беспроводной роутер интегрирован сетевой переключатель (свитч), для того чтобы к нему могли дополнительно подключаться клиенты по протоколу Ethernet или для подключения других маршрутизаторов при создании сети из нескольких беспроводных роутеров. Кроме того, беспроводные роутеры имеют встроенный брандмауэр, который предотвращает нежелательное вторжение в сеть злоумышленников. В остальном же, беспроводные роутеры схожи по устройству с точками доступа .

Рассмотрим три основных режима работы точки доступа:

- точка доступа;
- повторитель;
- мост.

Режим «точка доступа». В новом оборудовании режим «точка доступа» установлен по умолчанию. В этом режиме Вы подключаетесь со своего компьютера, оснащенного *Wi-Fi* адаптером, к беспроводной сети Вашей точки доступа. В большинстве случаев для работы в этом режиме специфические настройки не требуются.

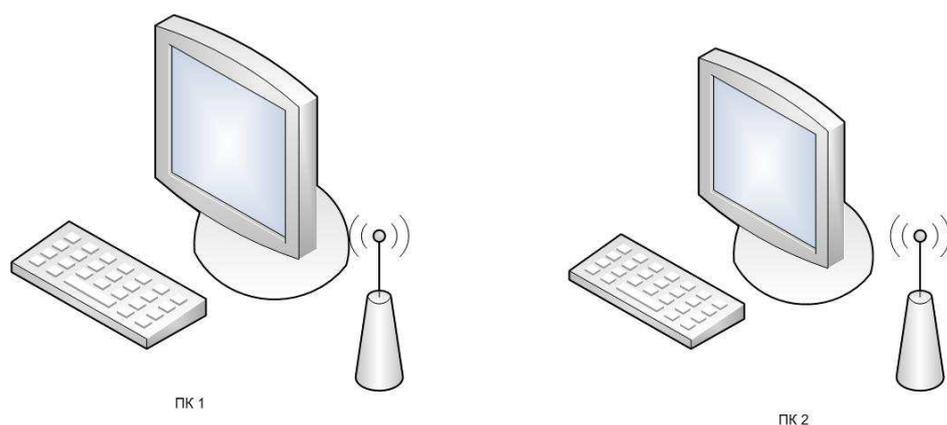


Рис.1.1. Режим «точка-точка»



Рис.1.2. Клиент-сервер

Режим «ретранслятор» (ретранслятор). В данном режиме точка доступа работает как приемо-передатчик или «повторитель». Она принимает слабый сигнал от другой точки доступа и, усиливая его, передает на этой же частоте дальше до необходимого адресата. Этот режим так же известен как «AP Client».

Режим «мост». В этом режиме точка доступа объединяет физически удаленные сегменты сети в одно целое. Используется при построении «линков» или, другими словами, обеспечения связи между отдаленными объектами.

Важно отметить, что для осуществления исправной работы в режимах «ретранслятор» и «мост», (идентификатор *беспроводной сети*), канал и тип шифрования должны совпадать.

1.3. Структура сети Wi-Fi

Перейдем к выбору архитектуры создаваемой сети. Независимо от выбора архитектуры сети доступ к глобальной сети интернет осуществляется примерно по одной и той же схеме, одна из таких схем показана рис.1.3. Сразу же возникает вопрос: какой тип архитектуры предпочтительнее - распределенная или централизованная сеть?

Каждая из них имеет ряд особенностей, достоинств и недостатков. Первый из них, режим Ad-Hoc, также называемый независимым базовым набором служб IBSS (Independent Basic Service Set) , - это простая сеть, в которой связь между многочисленными станциями устанавливается напрямую, без использования точки доступа. Для этого режима требуется минимум оборудования: каждая станция должна быть оснащена всего лишь беспроводным адаптером.

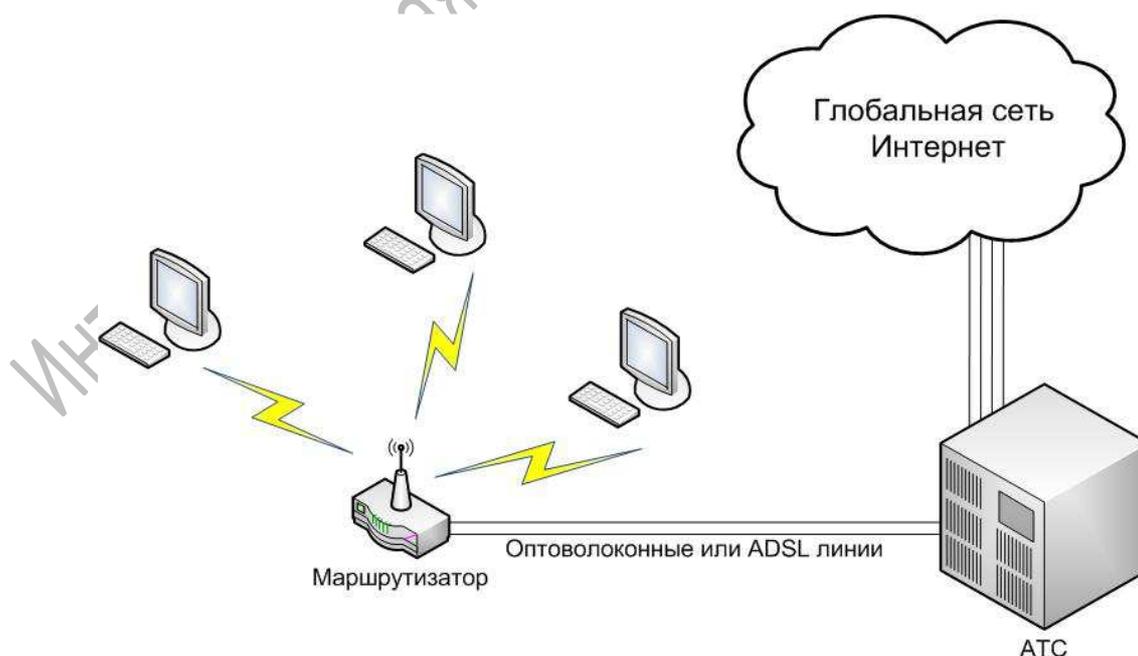


Рис.1.3. Схема доступа к интернету

При такой конфигурации не требуется создания сетевой инфраструктуры. Основным недостатком режима «точка-точка» является ограниченный диапазон действия возможной сети и невозможность подключения к внешней сети (как локальной, так и к Интернету). Однако этот режим может быть полезен в том случае, если инфраструктура беспроводной сети не имеет четко выраженной организации (например, в отелях, аэропортах, на вокзалах или, в конце концов, дома). Правда, о сети, в традиционном понимании этого термина, говорить в данном случае можно лишь с большой натяжкой.

Существенный недостаток такой сети — отсутствие единого управляющего элемента. Поэтому применение такого способа построения зачастую сильно ограничено. Впрочем, в каждом правиле есть исключения, о них мы поговорим несколько позже.

Проблема распределенного построения сети решается использованием беспроводных коммутаторов, однако их применение уже символизирует организацию беспроводной сети на основе централизованной архитектуры.

В режиме клиент-сервер беспроводная сеть состоит из, как минимум, одной точки доступа, подключенной к проводной сети, и некоторого набора находящихся в пределах радиуса ее действия беспроводных клиентских рабочих станций. При этом точка доступа принимает пакеты данных, обрабатывает их и, в зависимости от типа получателя, передает или в эфир, или в проводной сегмент сети. Такая конфигурация очень напоминает сотовую архитектуру сетей связи и носит название базового набора служб BSS (Basic Service Set).

Два или более BSS, образующих единую подсеть, формируют расширенный набор служб ESS (Extended Service Set), причем сами точки доступа взаимодействуют друг с другом, что позволяет передавать трафик от одной BSS к другой. В беспроводной сети AP выполняет роль своеобразного концентратора (аналогично тому, как это происходит в традиционных кабельных сетях).

Для большинства беспроводных клиентов, которым требуется получать доступ к файловым серверам, принтерам, Интернету, доступным в проводной локальной сети, гораздо удобнее работать в режиме клиент-сервер.

Основное отличие проводных коммутаторов от беспроводных в том, что последние не предоставляют пользователю выделенную полосу пропускания. (Для этого пришлось бы предоставить отдельный беспроводный канал для каждого пользователя сети, в таком случае беспроводные сети лишаются главного достоинства.)

Имеются и общие черты. Так, в сети, где устанавливается беспроводный коммутатор, функции шифрования и аутентификации от точек доступа переходят к коммутатору и администрируются централизованно. В итоге задача точки доступа ограничивается транзитом данных к пользователю и от него.

Другое преимущество сети на базе беспроводного коммутатора заключается в том, что при переходе от одной точки доступа к другой пользователь не теряет соединения с сетью, и ему не приходится проходить аутентификацию заново. Беспроводный коммутатор, своеобразный центр беспроводной сети, автоматически и без ущерба для сеанса связи отслеживает перемещения клиента. Кроме того, так как большая часть точек доступа поддерживает режим питания PoE (Power over Ethernet), беспроводный коммутатор способен не только стать для них источником питания, но и выполнять функцию отслеживания отказавших участков сети.

Таким образом, он может компенсировать неисправность участка сети расширением числа пользователей точек доступа, соседствующих с вышедшей из строя, путем увеличения их мощности. Исходя из информации о количестве пользователей, беспроводный коммутатор может эффективно распределять нагрузку каналов, предлагая более широкую пропускную способность сегментам сети, имеющих в определенный момент большее количество пользователей. Уже сегодня производители беспроводных

коммутаторов предлагают в составе своих продуктов специализированное ПО, поддерживающие описанные выше функции.

1.4. Стандарты протоколов Wi-Fi

Стандарт 802.11a работает в частотном диапазоне 5 ГГц со скоростью передачи данных до 54 Мбит/с. Данный стандарт построен на основе технологии цифровой модуляции ортогонального мультиплексирования с разделением частот (OFDM). Стандарт 802.11b использует диапазон частот 2,4 ГГц и достигает скоростей передачи данных до 11 Мбит/с.

Стандарта 802.11b построена по принципу DSSS. Стандарт для продуктов беспроводных сетей, которые работают на скорости 11 Mbps (подобно Ethernet), что позволяет успешно применять эти устройства в крупных организациях. Поскольку реализовать схему DSSS легче, нежели чем OFDM, то и продукты, использующие стандарт 802.11b, начали появляться на рынке раньше.

Стандарт 802.11g работает со скоростью передачи данных до 54 Мбит/с и разрабатывался с использованием технологии OFDM. Благодаря использованию частоты 5 ГГц и модуляции OFDM у этого стандарта есть два ключевых преимущества перед стандартом 802.11b. Во-первых, это значительно увеличенная скорость передачи данных по каналам связи. Во-вторых, увеличилось число не накладывающихся каналов.

Диапазон 5 ГГц (также известный как UNII) фактически состоит из трех субдиапазонов: UNII1 (5.15 – 5.25 ГГц), UNII2 (5.25 – 5.35 ГГц) и UNII3 (5.725 – 5.825 ГГц). При использовании одновременно двух субдиапазонов UNII1 и UNII2 получаем до восьми непересекающихся каналов против всего лишь трех в диапазоне 2.4 ГГц. Также у этого стандарта гораздо больше доступная полоса пропускания.

Стандарт 802.11g был утверждён в октябре 2002 году несет с собой более высокие скорости передачи данных, при этом поддерживая

совместимость с продуктами стандарта 802.11b. Стандарт работает с применением модуляции DSSS на скоростях до 11Мбит\с, но при этом дополнительно используется модуляция OFDM на скоростях выше 11Мбит\с.

Стандарт 802.11n использует совершенно новые технологии, повышающие скорость передачи данных и увеличивающие радиус покрытия. Так, например, заявленная скорость передачи данных для этого стандарта - около 300 Мбит\с. Устройства стандарта 802.11n могут работать в одном из двух диапазонов - 2,4 или 5 ГГц. Это намного повышает гибкость их применения, позволяя отстраиваться от источников радиочастотных помех.

Спецификация 802.11n предусматривает использование как стандартных каналов шириной 20 МГц, так и широкополосных — на 40 МГц с более высокой пропускной способностью. Проект её версии 2.0 рекомендует применять 40-мегагерцовые каналы только в диапазоне 5 ГГц, однако пользователи многих устройств такого типа получают возможность вручную переходить на них даже в диапазоне 2,4 ГГц. Модуляция, используемая стандартом, именуется MIMO (Multiple Input Multiple Output). Данная модуляция построена на основе применения множества антенн, соответственно, создается множество информационных потоков, что в разы увеличивает скорость передачи данных. Этот стандарт совместим со всеми предыдущими стандартами.

IEEE 802.11 — набор стандартов связи, для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов 2,4; 3,6 и 5 ГГц. Изначально стандарт IEEE 802.11 предполагал возможность передачи данных по радиоканалу на скорости не более 1 Мбит/с и опционально на скорости 2 Мбит/с. Один из первых высокоскоростных стандартов беспроводных сетей — IEEE 802.11a — определяет скорость передачи уже до 54 Мбит/с. Рабочий диапазон стандарта 5 ГГц.

Вопреки своему названию, принятый в 1999 году стандарт IEEE 802.11b не является продолжением стандарта 802.11a, поскольку в них

используются различные технологии: DSSS (точнее, его улучшенная версия HR-DSSS) в 802.11b против OFDM в 802.11a. Стандарт предусматривает использование нелицензируемого диапазона частот 2,4 ГГц. Скорость передачи до 11 Мбит/с.

Продукты стандарта IEEE 802.11b, поставляемые разными изготовителями, тестируются на совместимость и сертифицируются организацией Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA), которая в настоящее время больше известна под названием Wi-Fi Alliance. Совместимые беспроводные продукты, прошедшие испытания по программе «Альянса Wi-Fi», могут быть маркированы знаком Wi-Fi.

Долгое время IEEE 802.11b был распространённым стандартом, на базе которого было построено большинство беспроводных локальных сетей. Сейчас его место занял стандарт G, постепенно вытесняемый более совершенным N.

Проект стандарта IEEE 802.11g был утверждён в октябре 2002 г. Этот стандарт предусматривает использование диапазона частот 2,4 ГГц, обеспечивая скорость передачи 54 Мбит/с и превосходя, таким образом, стандарт IEEE 802.11b, который обеспечивает скорость передачи 11 Мбит/с. Кроме того, он гарантирует обратную совместимость со стандартом 802.11b. Обратная совместимость стандарта IEEE 802.11g может быть реализована в режиме модуляции DSSS, и тогда скорость передачи будет ограничена одиннадцатью мегабитами в секунду либо в режиме модуляции OFDM, при котором скорость составляет 54 Мбит/с. Таким образом, данный стандарт является наиболее приемлемым при построении беспроводных сетей.

1.5. Оборудование Wi-Fi и требования к его основным узлам

Сегодня беспроводные сети позволяют предоставить подключение пользователей там, где затруднено кабельное подключение или необходима

полная мобильность. При этом беспроводные сети без проблем взаимодействуют с проводными сетями.

1.5.1. Точки доступа Wi-Fi

Все точки доступа можно разделить по способу подключения: через USB порт и порт подключения Ethernet - RJ45. Последние пользуются наибольшим успехом, так как наиболее просты в настройке и управлении, а также обладают большей скоростью передачи в локальную сеть. Точки доступа могут быть комнатного (in door) и всепогодного (out door) исполнения. Для создания беспроводной сети внутри помещений используют комнатный вариант прибора. Он обладает меньшей стоимостью и, как правило, большим эстетическим видом. Работают такие точки доступа в пределах одной или нескольких комнат. На открытых участках местности (прямая видимость) возможна работа на расстоянии до 300 метров с использованием стандартных всенаправленных антенн. Точки доступа всепогодного исполнения предназначены для создания радиосети между зданиями. В зависимости от типов антенн такие устройства способны организовывать каналы связи на расстоянии порядка 3-5 км. Максимальная дальность беспроводного канала связи заметно увеличивается при использовании усилителей. В этом случае длина радиоканала достигает 8-10 км. Устройства типа точка доступа представлены на рис.1.4.

Комбинированные устройства. Большой интерес вызывают беспроводные точки доступа, объединяющие в себе функции других устройств, например, высокоскоростного беспроводного широкополосного маршрутизатора со встроенным коммутатором Fast Ethernet. Маршрутизатор позволяет быстро и легко настроить общий доступ к Интернет для проводной или беспроводной сети или организовать совместное использование широкополосного канала связи и кабельного DSL модема дома или в офисе.

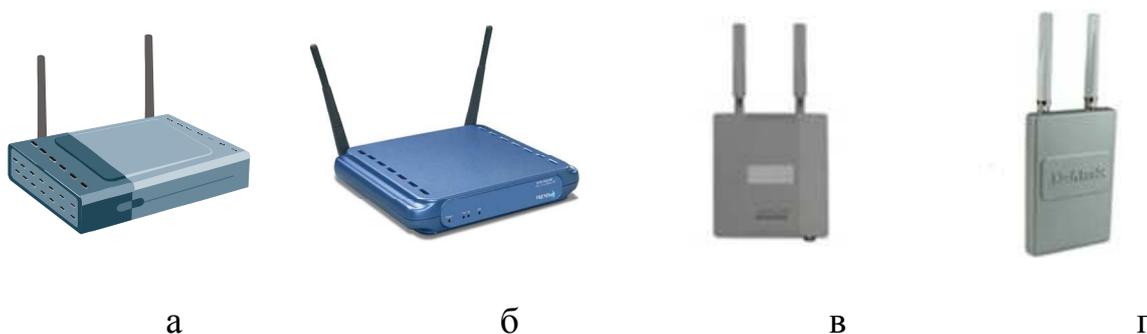


Рис.1.4 - Виды точек доступа: а, б – внутренние; в, г – внешние

1.5.2. Wi-Fi адаптеры

Для подключения к беспроводной сети Wi-Fi достаточно обладать ноутбуком или карманным персональным компьютером (КПК) с подключенным Wi-Fi адаптером.

Любой беспроводной Wi-Fi адаптер должен соответствовать нескольким требованиям:

1. необходима совместимость со стандартами;
2. работа в диапазоне частот 2,4 ГГц - 2,435 ГГц (или 5 ГГц);
3. поддерживать протоколы WEP и желательно WPA;
4. поддерживать два типа соединения "точка-точка", и "компьютер сервер";
5. поддерживать функцию роуминга.

Существует три основных разновидности Wi-Fi адаптеров, различаемых по типу подключения:

Подключаемые к USB порту компьютера. Такие адаптеры компактны, их легко настраивать, а USB интерфейс обеспечивает функцию "горячего подключения";

Подключаемые через PCMCIA слот (CardBus) компьютера. Такие устройства располагаются внутри компьютера (ноутбука) и поддерживают любые стандарты, позволяющие передавать информацию со скоростью до 108 Мбит/с;

Устройства, интегрированные непосредственно в материнскую плату компьютера. Самый перспективный вариант. Такие адаптеры устанавливаются на ноутбуки серии Intel Centrino. И, в настоящее время используются на подавляющем большинстве мобильных компьютеров. Все виды беспроводных адаптеров представлены на рис.1.5.



Рис.1.5 - Беспроводные адаптеры: а – с USB портом, б – формата PCMCIA, в – встроенный в материнскую плату

1.6. Ретрансляторы Wi-Fi

Ретрансляторы (иначе иногда называют: "репитер", "повторитель" - прямой перевод с англ. repeater) представляют собой комплекс радиотехнических устройств, предназначенных для приема сигнала от некоторого узла связи и последующей передачей, как правило, с некоторой обработкой (фильтрацией шума и усилением) сигнала, другому узлу связи, которым может быть как конечная (приёмная) станция, так и другой репитер.

Выстраивая ретрансляторы в последовательную цепочку, можно добиться получения канала связи в крайне сложных условиях (в горах, между перевалами, в сложных городских условиях и т.п. - см. рис. ниже).

Ретрансляторы бывают активные и пассивные. В данной статье рассматриваются только активные ретрансляторы.

Ретрансляторы, последовательно работающие то на приём, то на передачу, называют эхо-репитерами. Следует учитывать, что скорость передачи данных точки доступа в режиме ретранслятора падает ровно в два раза. Физически процесс ретрансляции выглядит следующим образом: точка доступа, установленная в режиме "REPEATER", в одну единицу времени принимает пакет от базовой станции, а в следующую передаёт его же в эфир. То есть точка доступа повторяет все действия основной базовой станции, только с задержкой.

Чаще всего ретрансляторы применяют, когда нет прямой видимости между конечными узлами связи.

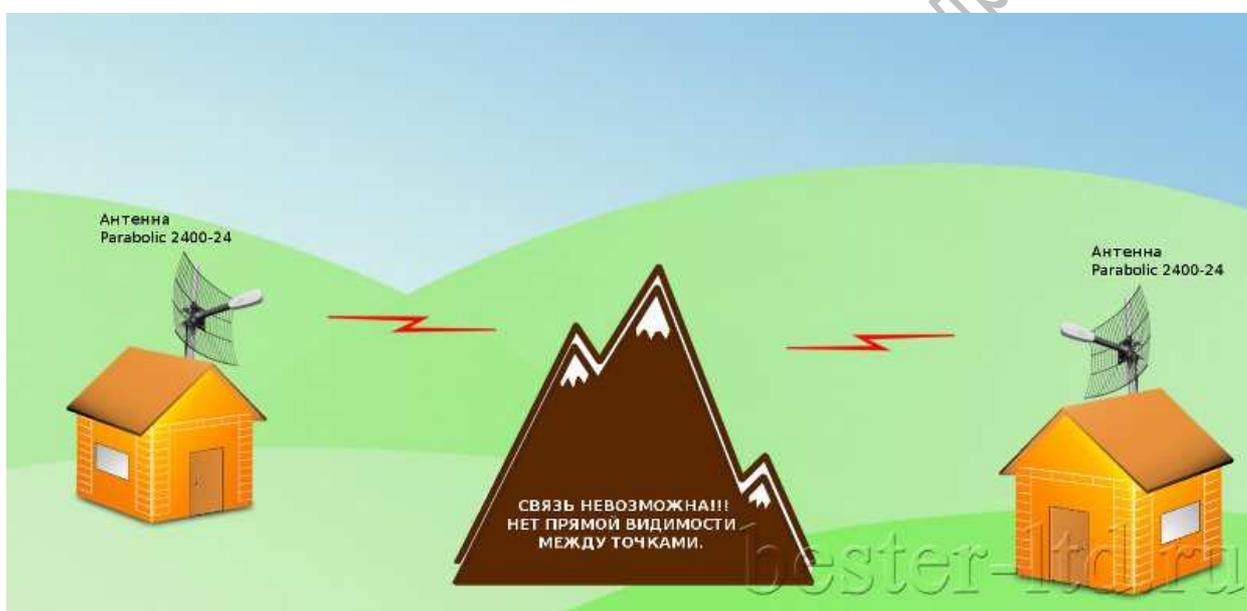


Рис.1.6. Отсутствие канала связи

Невозможность получить канал связи напрямую между точками. Необходимо применять ретранслятор

Как видно из рис.1.6 иногда возникают ситуации, когда установить канал связи не удастся, не смотря на высокое усиление антенн, малые расстояния и отсутствие электрических помех от посторонних сетей.

Применение ретрансляторов оправдано также при большом удалении конечных точек друг от друга. Из-за большого расстояния между объектами

невозможно организовать устойчивый радиоканал. Протяжённый радиоканал потребует применения дорогостоящих приёмо-передаточных антенн с высоким коэффициентом усиления.

Репитер может решить задачу получения качественной связи. Ретранслятор в промежуточной точке позволит реализовать дешёвый и устойчивый канал связи, применяя недорогое оборудование.

Простым наращиванием мощности, попытками поднять антенны выше или увеличением коэффициента усиления антенн решить задачу не удастся. Поэтому целесообразно не тратиться на дорогостоящее оборудование, продавцы которого обещают невозможное. Достаточно организовать небольшой (можно даже вообще автономный, необслуживаемый) репитер, состоящий из точки доступа (способной работать в режиме повторителя) и всенаправленной антенны нужного усиления. Единственная задача, которую нужно будет решить - установить в защищённом месте и найти источник питания (2-10 ватт).

Но на сегодняшний день такая задача может решаться достаточно просто (установка приёмо-передатчика в соседнем поселении; в придорожном кафе, на автозаправке), - вплоть до установки солнечной панели с аккумулятором. Такие системы значительно подешевели в последние годы и их активно применяют там, где нет централизованной электросети (например, устанавливая автономные светофоры, телефоны-автоматы, светящиеся дорожные указатели и т.д.).

По отношению к базовой станции репитер является просто клиентом. И когда сигнал передаётся ретранслятором, основная базовая станция находится в простое. Из-за этого скорость при работе через ретранслятор и падает ровно вдвое.

Когда вы найдёте в эфире сигнал от ретранслятора, он будет передавать SSD основной базовой станции. Подключение к ретранслятору ничем не отличается от подключения к основной базовой станции. (Вы

вводите все свои данные, точно так же, как если бы Вы подключались к основной базовой станции напрямую.)

Ретранслятор на всенаправленной антенне - простейший WiFi эхо-репитер.

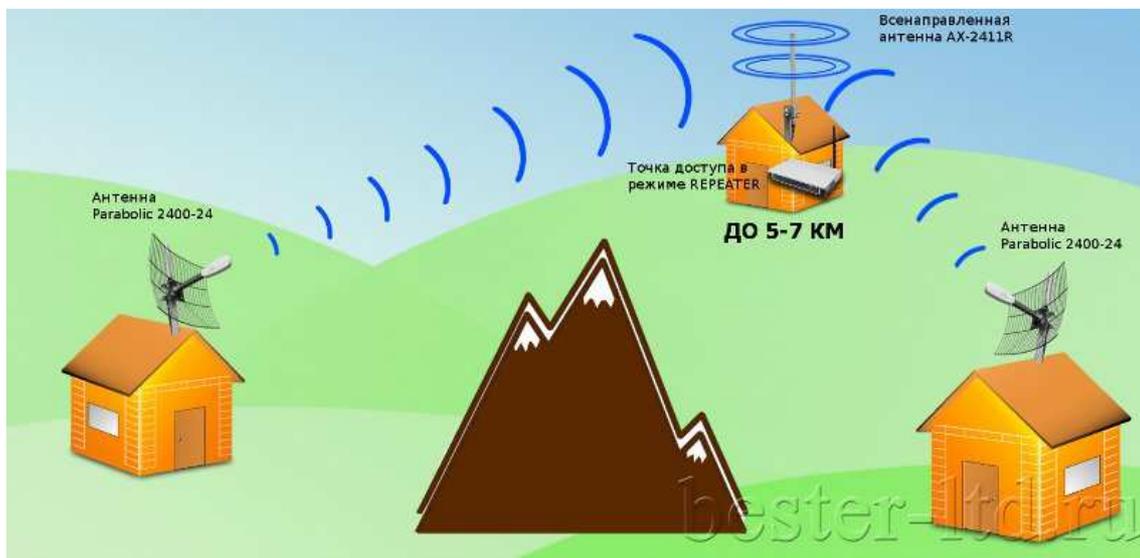


Рис.1.7. Установка простейшего ретранслятора в третьей точке, имеющей прямую видимость с конечными станциями

Репитер не обязательно должен располагаться посередине между точками. Основное условие - прямая видимость до ретранслятора с обеих точек.

Расстояние от конечных точек до репитера, даже если оно больше расстояния между самими точками, не должно Вас пугать. В отсутствие помех, передать сигнал на большое расстояние, значительно проще, чем в густонаселённом городе в соседний дом.

В городских условиях так же оправданно применение ретрансляторов.

Из-за экранировки высотными зданиями, зачастую единственным способом доставить канал связи потребителю, можно через ретранслятор. Прокладка оптики и меди, бывает в этих случаях экономически не оправданна. Правда, и организовать репитер в городских условиях проще, ведь точка доступа клиента может одновременно работать и ретранслятором сигнала для другого клиента.

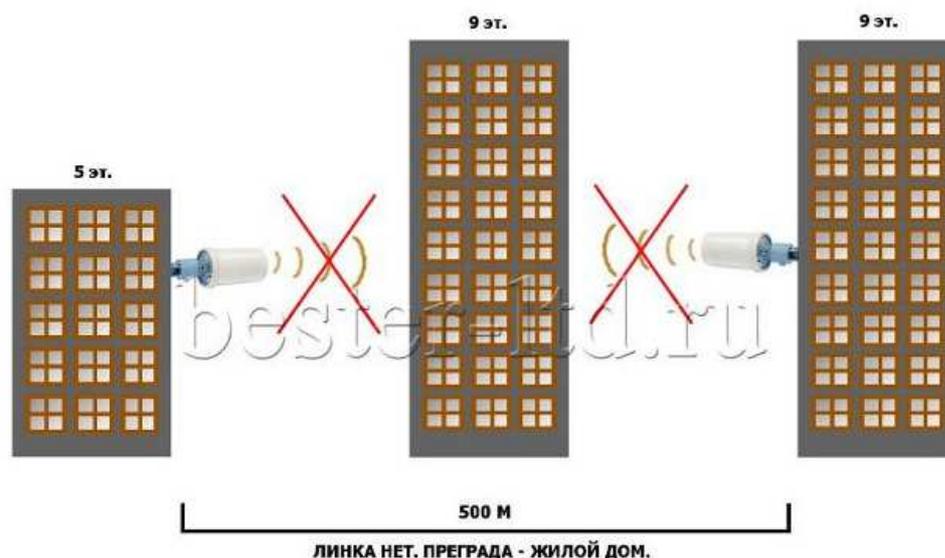


Рис.1.8. Канал связи в городских условиях

Самый бюджетный вариант - установка всенаправленной антенны на крыше среднего здания. Такое построение сети позволит не только связать две исходные точки в одну сеть, но и транслировать сигнал в локальную сеть среднего дома.

Таким образом можно решать сразу две задачи: обеспечить канал связи двум крайним домам и связать их с локальной сетью дома в центре (см. рис.1.9)



Рис.1.9. Способ создания канала связи в городских условиях

Некоторые точки доступа поддерживают технологию [Virtual WiFi](#). Этот режим позволяет абсолютно прозрачно организовать через единственный ретранслятор несколько независимых каналов передачи данных, никак не связанным между собой.

Зона действия ретранслятора определяется типом и усилением применяемых антенн.

Для увеличения площади покрытия связью, антенны ретранслятора необходимо устанавливать максимально высоко. Если Вы не находите поблизости подходящего высокого объекта (эlevator, водонапорная башня, смотровая вышка и т.п.), то лучше установить собственную мачту. Не устанавливайте ретранслятор на опоры антенн операторов сотовой связи. Их мощные антенны заглушат WiFi сигнал и эффект от установки ретранслятора будет нулевой. Собирайте ретранслятор лучше максимально далеко от источников мощного излучения. А антенны сотовой связи как раз являются весьма мощным передатчиком.

Ретрансляторы имеют разную производительность, скорость передачи данных и количество подключаемых клиентов, в зависимости от типа и конфигурации используемого активного оборудования.

На ретрансляторе может устанавливаться одна всенаправленная антенна. (см. рис.1.7). А могут применяться две [высоконаправленные антенны Wi-Fi](#) (рис.1.10), которые подключаются к точке доступа через [делитель сигнала](#).

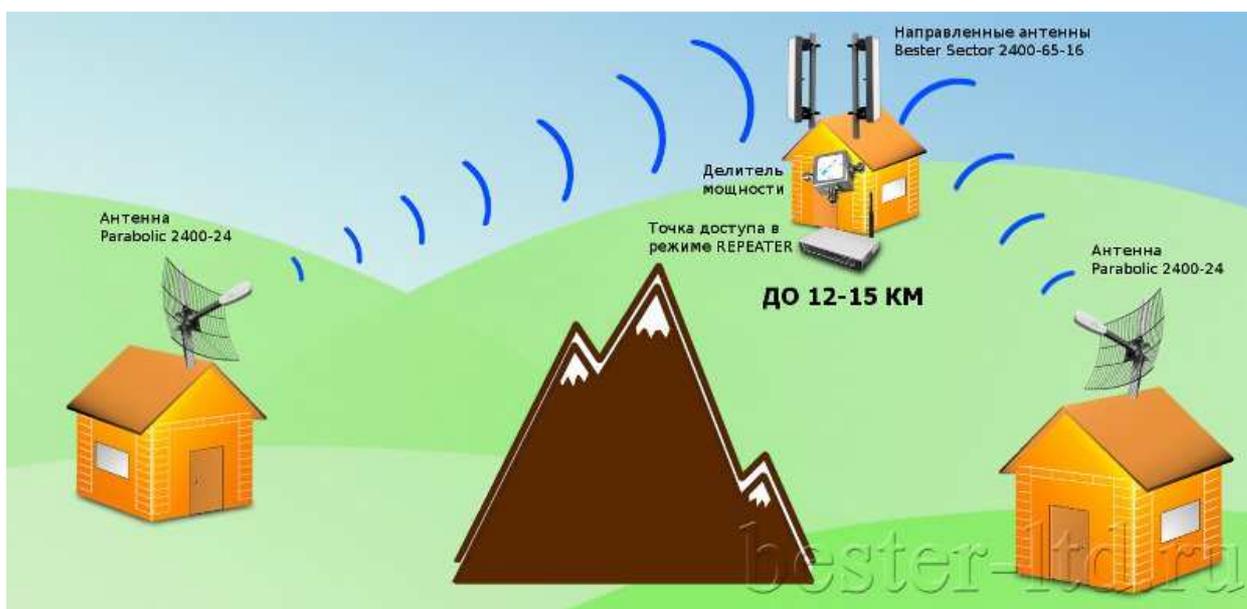


Рис.1.10. Организация ретранслятора на двух направленных антеннах, соединенных с точкой доступа через разветвитель

Последовательной установкой нескольких ретрансляторов подряд один за другим (см. рис.1.11), удается развернуть локальную сеть Wi-Fi, на весьма больших расстояниях и сильно пересеченной местности.

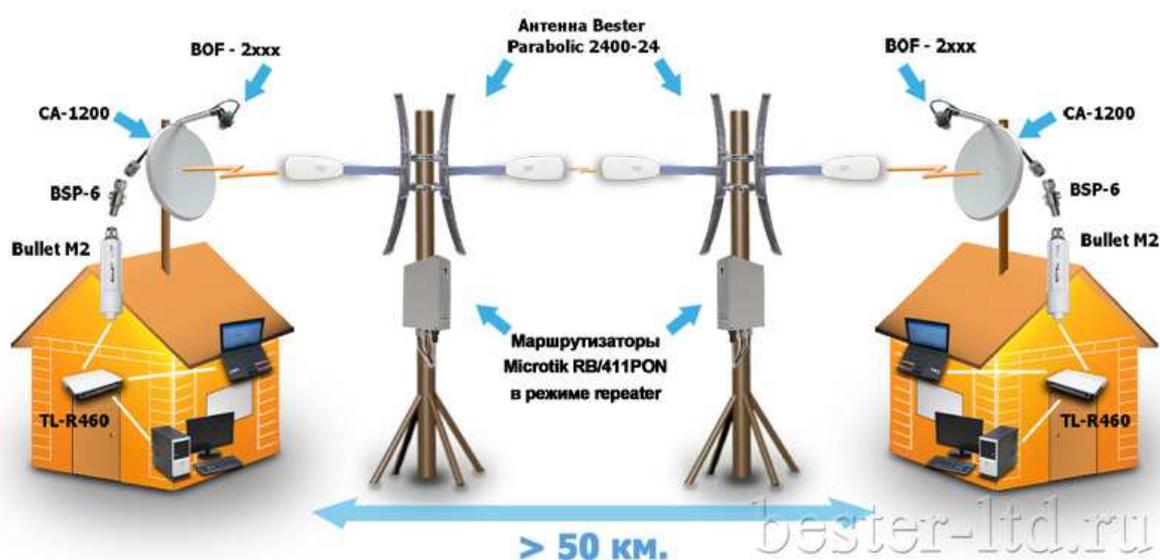


Рис.1.11. Построение канала связи на последовательно подключенных ретрансляторах

В примере, изображенном на рис.1.10 использованы wifi антенны Bester Parabolic 2400, 27 dBi с активным сетевым оборудованием MikroTik RB411, работающем в режиме ретранслятора.

На конечных точках линия установлены направленные антенны с высоким К.У., собранные на основе обычных спутниковых тарелок и облучателей BOF-2xxx.

Двухканальные (или, по-другому, двухчастотные) репитеры WiFi представляют собой более сложные повторители сигнала, которые осуществляют прием на одной частоте, а передают - на другой.

За счет этого достигается увеличение скорости обмена данными, т.к. прием и передача ведутся на разных частотах, а, следовательно, могут осуществляться одновременно и независимо друг от друга.

Примером подобных репитеров может служить простейший ретранслятор на основе антенн 2 ГГц и 5 ГГц и активного оборудования MikroTik.

1.7. Преимущества и недостатки системы Wi-Fi

Система передачи данных Wi-Fi имеет следующие преимущества:

- позволяет развернуть сеть без прокладки кабеля, может уменьшить стоимость развертывания и расширения сети. Места, где нельзя проложить кабель, например, вне помещений и в зданиях, имеющих историческую ценность, могут обслуживаться беспроводными сетями;

- Wi-Fi-устройства широко распространены на рынке. А устройства разных производителей могут взаимодействовать на базовом уровне сервисов;

- Wi-Fi сети поддерживают роуминг, поэтому клиентская станция может перемещаться в пространстве, переходя от одной точки доступа к другой.

- Wi-Fi — это набор глобальных стандартов. В отличие от сотовых телефонов, Wi-Fi оборудование может работать в разных странах по всему миру.

К недостаткам системы Wi-Fi следует отнести следующее:

- частотный диапазон и эксплуатационные ограничения в различных странах неодинаковы; во многих европейских странах разрешены два дополнительных канала, которые запрещены в США; В Японии есть ещё один канал в верхней части диапазона, а другие страны, например Испания, запрещают использование низкочастотных каналов. Более того, некоторые страны, например Италия, требуют регистрации всех Wi-Fi сетей, работающих вне помещений, или требуют регистрации Wi-Fi-оператора.

- довольно высокое по сравнению с другими стандартами потребление энергии, что уменьшает время жизни батарей и повышает температуру устройства;

- самый популярный стандарт шифрования, Wired Equivalent Privacy или WEP, может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости ключа). Несмотря на то, что новые устройства поддерживают более совершенный протокол Wi-Fi Protected Access (WPA), многие старые точки доступа не поддерживают его и требуют замены. Принятие стандарта 802.11i (WPA2) в июне 2004 делает доступной более безопасную схему, которая доступна в новом оборудовании. Обе схемы требуют более стойкий пароль, чем те, которые обычно назначаются пользователями. Многие организации используют дополнительное шифрование (например VPN) для защиты от вторжения;

- Wi-Fi имеют ограниченный радиус действия. Типичный домашний маршрутизатор стандарта 802.11b или 802.11g имеет радиус действия 45 м в помещении и 90 м снаружи. Расстояние зависит также от частоты. Wi-Fi в диапазоне 2.4 ГГц работает дальше, чем Wi-Fi в диапазоне 5 ГГц, и имеет радиус меньше, чем Wi-Fi (и пре-Wi-Fi) на частоте 900 МГц.

- наложение сигналов закрытой или использующей шифрование точки доступа и открытой точки доступа, работающих на одном или соседних каналах может помешать доступу к открытой точке доступа. Эта проблема может возникнуть при большой плотности точек доступа, например, в больших многоквартирных домах, где многие жильцы ставят свои точки доступа Wi-Fi.

- неполная совместимость между устройствами разных производителей или неполное соответствие стандарту может привести к ограничению возможностей соединения или уменьшению скорости.

2. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

В настоящее время используются большое количество беспроводных сетей передачи данных. В ближайшее время, по мере еще более интенсивного внедрения технологий передачи данных 3-го поколения, а также стандарта беспроводной связи Bluetooth, следует ожидать их еще большее увеличение. В основном, в настоящее время идет развитие систем передачи данных, работающих как вне зданий, так и внутри зданий.

Особенностями распространения электромагнитных волн в условиях вне зданий являются:

- влияние архитектуры городской застройки;
- влияние высот подвеса передающей и приемной антенн;
- влияние погодных условий на ослабление сигнала и т.д.

Особенностями распространения электромагнитных волн в условиях внутри зданий являются:

- наличие всевозможных препятствий на пути распространения сигнала;
- множественность путей распространения сигнала из-за многочисленных отражений.

Теперь вкратце рассмотрим методы моделирования каналов связи в городских условиях и внутри зданий.

2.1. Методы моделирования каналов связи в городских условиях

В настоящее время наряду с традиционным статистическим описанием распределения уровней поля в городе (эмпирические модели) существуют детерминистские (дифракционные) модели, основанные на применении геометрической оптики и геометрической теории дифракции.

Одной из первых работ, в которой на основе измерений выводятся эмпирические коэффициенты для расчета уровней поля, является работа Джонса [4]. Он использовал модель, при которой распространение радиоволн в городе происходит так же, как в свободном пространстве, но в присутствии некоторого абсорбирующего слоя.

Эффект поглощения Джонс учитывал введением в формулу экспоненциального множителя с эмпирическими коэффициентами

$$E = \frac{K \sqrt{P_3}}{r} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha S}{\lambda^x}\right), \text{V/m}, \quad (2.1)$$

где: P_3 - эффективная мощность излучения ($P_1 \cdot D_1$), W;

P_1 - мощность передатчика на входе антенны, W;

D_1 - коэффициент направленного действия передающей антенны;

λ - длина волны передатчика, м;

α , K , x - эмпирические коэффициенты;

r - расстояние между передатчиком и приемником, м;

S - расстояние, проходимое волной в эквивалентном поглощающем слое, м.

$$S = r \cdot \frac{d - h_2}{h_1 - h_2} \cdot \left(1 + \frac{(h_1 + h_2)^2}{r^2}\right)^{0.5}, \quad (2.2)$$

где: h_1 , h_2 - высоты подвеса передающей и приемной антенны, м; d - высота поглощающего слоя, равная высоте городской застройки H_3 , м.

Постоянная ослабления α определялась эмпирически.

Формула (2.1) имеет два недостатка: она не удовлетворяет теореме взаимности и в формуле имеются эмпирические коэффициенты, которые должны зависеть от длины волны и архитектуры застройки.

В [4] Трифионов П.М. на основании обработки экспериментальных данных вывел две следующие эмпирические формулы при высоте подвеса передающей антенны выше уровня крыш:

$$\text{при } f=150 \text{ MHz} \quad E = 26,1 h_1 \sqrt{P_3} \cdot \exp(-0,723r) / r, \mu\text{V/m}, \quad (2.3)$$

$$\text{и при } f=300 \text{ MHz} \quad E = 8,7(1,1 + h_1) \sqrt{P_0} \cdot \exp(-0,723r)/r, \mu\text{V/m}, \quad (2.2)$$

при высоте подвеса передающей антенны ниже уровня крыши:

$$\text{при } f=150 \text{ MHz} \quad E = 214h_1 \sqrt{P_0} \cdot \exp(-1,22r)/r, \mu\text{V/m}, \quad (2.5)$$

$$\text{и при } f=300 \text{ MHz} \quad E = 25,8(0,38 + h_1) \sqrt{P_0} \cdot \exp(-1,22r)/r, \mu\text{V/m}, \quad (2.6)$$

где величина P_0 в Вт.

К недостатку этих формул следует отнести отсутствие зависимости уровня поля от высоты подвеса приёмной антенны.

В случае приема ниже уровня крыш на радиальных улицах и при ширине улицы больше размеров первой зоны Френеля, что может иметь место в дециметровом диапазоне волн на небольшом расстоянии от передатчика, напряженность поля рассчитывалась по интерференционной формуле [6, 7]:

$$E = \frac{173 \sqrt{P_0}}{r} \cdot \sqrt{1 + 2R \cdot \cos\left(\theta + \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda r}\right) + R^2}, \mu\text{V/m}, \quad (2.7)$$

или по квадратичной формуле при $r \geq 18h_1 h_2 / \lambda$:

$$E = 2,18 \sqrt{P_0} \sqrt{h_1 h_2 / r^2 \lambda}, \mu\text{V/m}, \quad (2.8)$$

где: R - модуль коэффициента отражения от подстилающей поверхности;

θ - угол потери фазы при отражении от подстилающей поверхности.

Хата М. [8] предложил эмпирические формулы для расчета величины потерь передачи (ослабления сигнала) L в городской и пригородной зонах (формула рекомендована МККР) в диапазоне частот 150...1500 MHz для высот подвеса антенн базовой станции $h_1=30...200$ m, высот антенн подвижной станции $h_2 = 1...10$ m и расстояний $r = 1...20$ km. Уравнения основаны на упрощенной модели Окамуры. Ограничения по расстоянию и высотам сдерживают её широкое использование при проектировании сотовых систем связи.

Для среднего и малого города

$$L = 68,75 - 13,82 \lg h_1 + 27,72 \lg f - (1,1 \lg f - 0,7) h_2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r, \text{dB}; \quad (2.9)$$

для большого города при $f \leq 200$ MHz

$$L = 70,65 - 13,82 \lg h_1 + 26,16 \lg f - 8,29 [\lg(1,54 h_2)]^2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r, \text{dB}; \quad (2.10)$$

для большого города при $f \geq 400$ MHz

$$L = 74,52 - 13,82 \lg h_1 + 26,16 \lg f - 3,2 [\lg(1,75 h_2)]^2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r, \text{dB}; \quad (2.11)$$

для пригорода

$$L = 63,35 - 13,82 \lg h_1 + 27,72 \lg f - 2 [\lg(f / 28)]^2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r - (1,1 \lg f - 0,7) h_2, \text{dB}; \quad (2.12)$$

для сельской местности

$$L = 23,81 - 13,82 \lg h_1 + 46,05 \lg f - 4,78 (\lg f)^2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r - (1,1 \lg f - 0,7) h_2, \text{dB}; \quad (2.13)$$

для открытой местности

$$L = 27,81 - 13,82 \lg h_1 + 46,05 \lg f - 4,78 (\lg f)^2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r - (1,1 \lg f - 0,7) h_2, \text{dB}. \quad (2.14)$$

Тут и далее величины f в MHz, а r в km.

Развитие систем связи работающих на более высоких частотах стимулировало появление модели COST 231-Hata [9] для диапазона частот 1500...2000 MHz при тех же ограничениях по модели Хата.

Для центра столичного города

$$L = 48,5 - 13,82 \lg h_1 + 35,4 \lg f - (1,1 \lg f - 0,7) h_2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r, \text{dB}; \quad (2.15)$$

для сельской местности

$$L = 9,56 - 13,82 \lg h_1 + 53,7 \lg f - (1,1 \lg f - 0,7) h_1 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r - 4,78 (\lg f)^2, \text{dB}; \quad (2.16)$$

для открытой местности

$$L = 4,56 - 13,82 \lg h_1 + 53,7 \lg f - (1,1 \lg f - 0,7) h_1 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r - 4,78 (\lg f)^2, \text{ dB.} \quad (2.17)$$

Для получения в расчетных выражениях новых эмпирических коэффициентов, пригодных для расчета поля в городах целесообразно использовать модели Окамуры-Хата и COST 231- Хата, первая из которых позволяет учитывать рельеф местности, а вторая – весьма проста для программирования, что позволит использовать ее в системах автоматического проектирования.

2.2. Методы моделирования каналов связи внутри зданий

Предложенные к настоящему времени модели каналов связи внутри зданий не учитывают в полной мере эти особенности, вследствие чего не обладают удовлетворительной точностью расчета. Кроме того, недостатком этих моделей является их "неустойчивость" к объему исходных данных. Исходными данными для построения математической модели радиоканалов внутри зданий является план этого здания. "Устойчивая" модель позволяет грубо оценивать уровень сигнала при минимальном объеме исходных данных о здании или городе и приводит к улучшению точности по мере уточнения сведений. Применяемые в настоящее время модели начинают работать лишь после того, как достаточно полно заданы исходные данные о планировке здания или города и не дают существенного улучшения точности при их пополнении.

Модели распространения сигналов внутри зданий можно разделить на 3 группы:

1. Статистические модели; не требующие подробной информации о здании кроме общего описания его типа: производственное здание, гостиница, больница, торговый центр, здание старой постройки и т.п. [10].

2. Эмпирические одно- или многолучевые модели; основанные на анализе одного или нескольких лучей, соединяющих передающую и приемную антенны, для оценки уровня принимаемого сигнала [11].

3. Лучевые модели; в которых используется квазиоптическое представление процессов распространения сигналов и учитываются отражения от стен помещения и дифракция на углах [12].

В моделях 1-й группы потери распространения сигнала L_p имеют зависимость от расстояния между антеннами d вида

$$L_p = L_{p0}(d_0) + n \cdot 10 \lg(d/d_0), \text{ дБ}, \quad (2.18)$$

где показатель степени n определяется типом здания.

Такая модель применяется в программном пакете [13] и характеризуется быстротой расчетов, при выполнении которых требуется определить только расстояние между антеннами – все другие параметры и константы относятся ко всему зданию в целом и задаются предварительно.

Модели 2-й группы (Motley-Keenan [14], Multi-Wall-Model [15]) основаны на добавлении к (1) потерь во всех стенках на пути между приемной и передающей антеннами. В относящейся к этой же группе модели DPM (Dominant Path Model) [16] к основному лучу добавляются дополнительные лучи, проходящие через соседние помещения по отношению к тем, что лежат на главном пути. При этом точный поиск точек отражения сигнала не производится.

Модели 3-й группы [17,18] по возможности максимально полно учитывают информацию о планировке здания. В соответствии с ними, определяются все возможные пути попадания сигнала из антенны передатчика в антенну приемника. Для уменьшения связанного с этим времени расчетов предложено несколько способов ускорения вычислительного процесса [19].

Имеются две разновидности реализации данного рода моделей, называемые трассировкой лучей (ray tracing) и образованием лучей (ray

launching). Число учитываемых итераций (отражений, препятствий) зависит от мощности компьютера.

Большинство моделей ограничено максимум 6-ю итерациями, включая не более 2-х препятствий.

Дифракционные потери сигнала вдоль каждого пути рассчитываются с использованием геометрической теории дифракции [20], а коэффициенты отражения – с помощью формул Френеля. Возможно также использование эмпирических соотношений, откалиброванных при помощи экспериментальных данных.

Основным недостатком моделей 3-й группы, как уже отмечалось, является их чувствительность к точности исходных данных. В случаях, когда неточно указаны данные о параметрах стен или их местоположению, результаты расчета существенно ухудшаются.

2.2.1. Волноводная модель радиоканалов внутри зданий

Рассмотрим задачу о передаче сигналов между расположенными в произвольных точках внутри здания источником и приемником. Чтобы получить расчетные соотношения необходимо решить краевую задачу о возбуждении электромагнитных волн заданным источником внутри здания. Решение этой краевой задачи построим следующим образом. Разобьем внутренний объем здания на некоторое конечное число блоков так, чтобы каждый из них представлял собой регулярную структуру хотя бы вдоль одной оси и, возможно, неоднородную вдоль двух других осей трехмерной системы координат, перпендикулярных первой (рис.2.1). Такими блоками, которые будем называть элементарными, в зависимости от внутренней планировки здания могут являться стены здания, отдельные помещения или их части, а также группы из нескольких помещений. Фактически, такой подход означает использование метода частичных областей (МЧО) для

расчета электромагнитного поля внутри рассматриваемой сложной структуры [21].

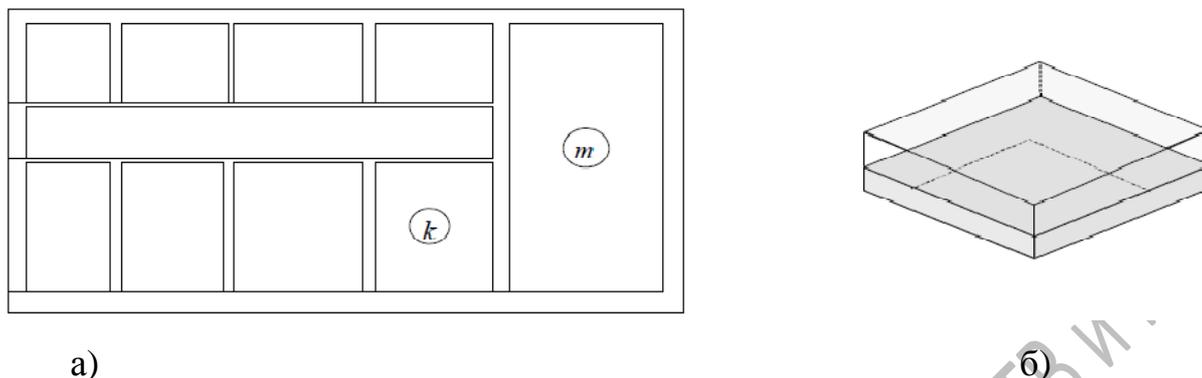


Рис.2.1. Разбиение здания на элементарные блоки

В общем случае элементарные блоки, на которые разбито здание, представляют собой структуру, регулярную вдоль одной оси и неоднородно заполненную вдоль двух других, перпендикулярных первой, осей. Таким образом, для успешного применения предлагаемого метода расчета характеристик распространяющихся внутри зданий сигналов необходимо исследовать характеристики неоднородно заполненных диэлектрических структур, которые обобщенно можно представить в виде, изображенном на рис.2.2. Проблемы передачи сигналов в такой структуре подробно рассмотрены в [21].

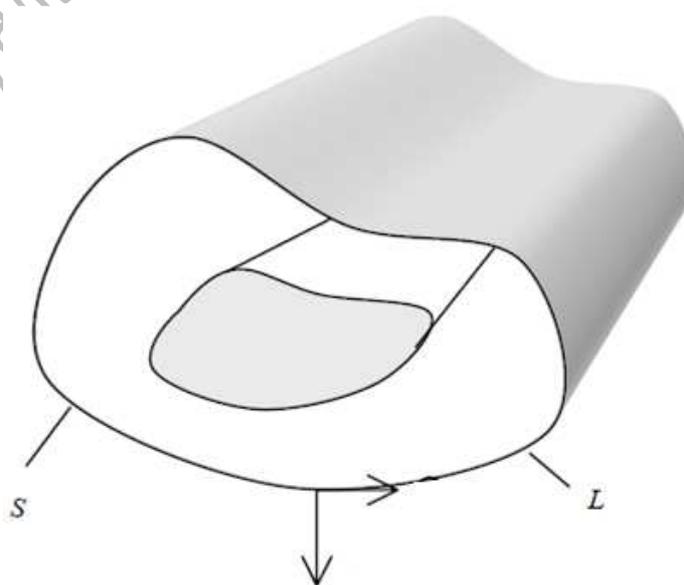


Рис.2.2. Неоднородно заполненный волноводный канал связи

Как и в случае лучевых моделей 3-й группы, применение волноводной модели распространения сигналов внутри зданий со сложной планировкой невозможно без использования специальных процедур ускорения расчетов.

2.2.2. Энергетическая формулировка волноводной модели

С целью получения удобного для компьютерной реализации алгоритма расчета характеристик распространения сигналов внутри зданий рассмотрим задачу о возбуждении электромагнитных волн в элементарном блоке - параллелепипеде $x_1 \times x_2 \times x_3$, однородно заполненном немагнитной средой с известной величиной $\text{tg}\delta$ и окруженном стенками бесконечной толщины с глубиной проникновения поля Δ_m , $m=1, \dots, 6$ [20] (рис.2.3). Источник будем считать точечным, расположенным в точке М внутри параллелепипеда.

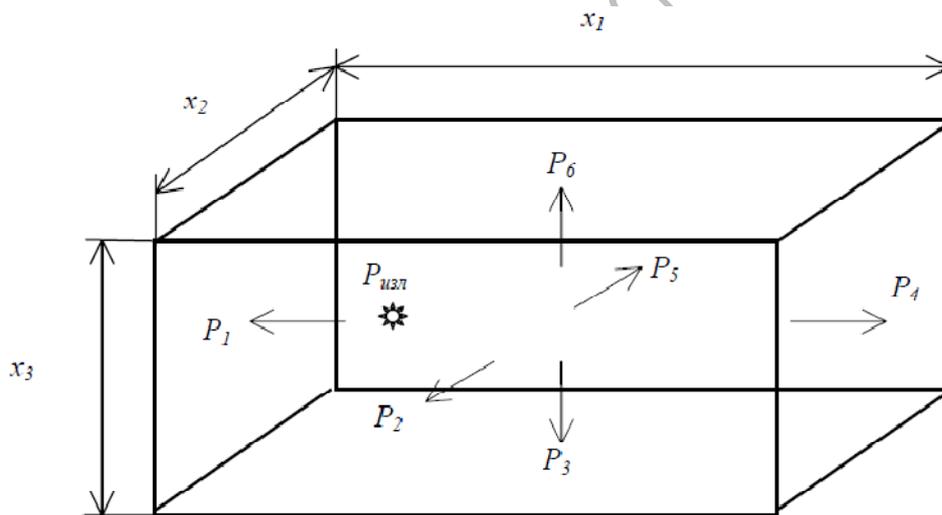


Рис.2.3. Элементарный блок внутри здания

Возбуждаемое в рассматриваемой структуре поле представим в виде суперпозиции полей ее собственных колебаний (мод), которые будем считать модами однородно заполненного прямоугольного резонатора с потерями. Частоты указанных мод равны:

$$f_v = f_v^0 \left(1 + i(2Q_v)^{-1} \right), \quad (2.19)$$

Амплитуда A_v , с которой возбуждается v -я мода, зависит от мощности, типа, поляризации, места расположения источника и обратно пропорциональна разности квадратов частоты f_v и частоты возбуждения f_0 [18]:

$$A_v = b_v / (f_v^2 - f_0^2), \quad (2.20)$$

В рассматриваемой структуре имеют место многократные отражения электромагнитных волн от стенок. При каждом отражении часть энергии уходит в стенку, а оставшаяся часть рассеивается и накапливается в объеме помещения. Величина накапливаемой в структуре за период возбуждающего колебания энергии равна

$$W = \sum_q |A_q|^2 W_q, \quad (2.21)$$

Мощность, отдаваемая источником $P_{изл}$, оказывается равной сумме мощностей рассеиваемой в объеме P_0 и уходящей в окружающие стенки $P_{ст}$:

$$P_{изл} = P_0 + P_{ст}. \quad (2.22)$$

Принимая во внимание соотношение для глубины проникновения поля в материал m -й стенки

$$\Delta_m = \frac{\sqrt{2}}{k_0} \left\{ \left[1 + y_m^2 / (\mu \epsilon \epsilon_m)^2 \right]^{1/2} - 1 \right\}^{-1/2}, \quad (2.23)$$

Подставив (2.23) - (2.24) получаем N уравнений вида

$$P_k^{cm} = (1 - g_{k0}) \left[\sum_{i=1}^N c_{ki} P_i^{cm} + z_k P_k^{изл} \right], \quad k=1, \dots, N \quad (2.24)$$

Соотношения (2.23) и (2.24) представляют собой уравнения баланса мощностей во всех блоках здания и могут рассматриваться как система N линейных алгебраических уравнений относительно N неизвестных.

В каждом блоке закон изменения принимаемой мощности при перемещении вдоль любой линии носит колебательный характер. В окрестности произвольной точки блока принимаемая мощность

периодически принимает максимальное и минимальное значения, вызванные интерференцией волн при их многократных переотражениях.

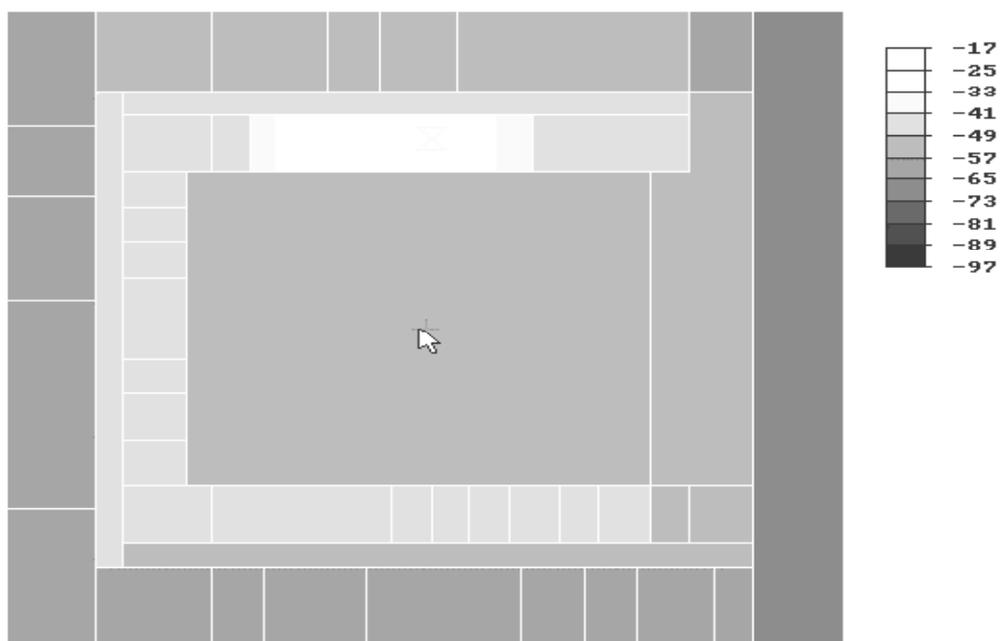
Многократные переотражения волн в каждой комнате приводят к отсутствию какого-либо преимущественного направления распространения парциальных волн.

Разработанная модель каналов связи внутри зданий реализована в виде компьютерной программы и применялась для прогнозирования потерь распространения сигналов на частотах 900-2500 МГц в различных типах нежилых зданий: научных и высших учебных учреждениях, торговых центрах. Среди зданий, в которых проводилась апробация модели, были многоэтажные и одноэтажные, кирпичные и железобетонные. При выборе в качестве элементарного блока отдельных помещений рассматриваемого здания результаты расчетов средних потерь распространения сигнала в каждом помещении отличаются от экспериментальных данных не более чем на $2\div 3$ дБ, что является хорошим показателем, не уступающим или превосходящим по точности результаты, получаемые с помощью [19].

В качестве примера на рис.2.4 изображены результаты расчета с помощью приведенной модели мощности сигнала на входе приемной антенны в зданиях 4-го корпуса Московского института электронной техники (МИЭТ, рис.2.4.а), торговом центре на площади Юности в г. Зеленограде (рис.2.4.б) и в административном здании фирмы Bell Northern Research в Оттаве, Канада (рис.2.4.в).

Отметим, также, что разработанная модель хорошо «калибруется» результатами измерений, или, другими словами, ее параметры легко идентифицируются с помощью экспериментальных данных.

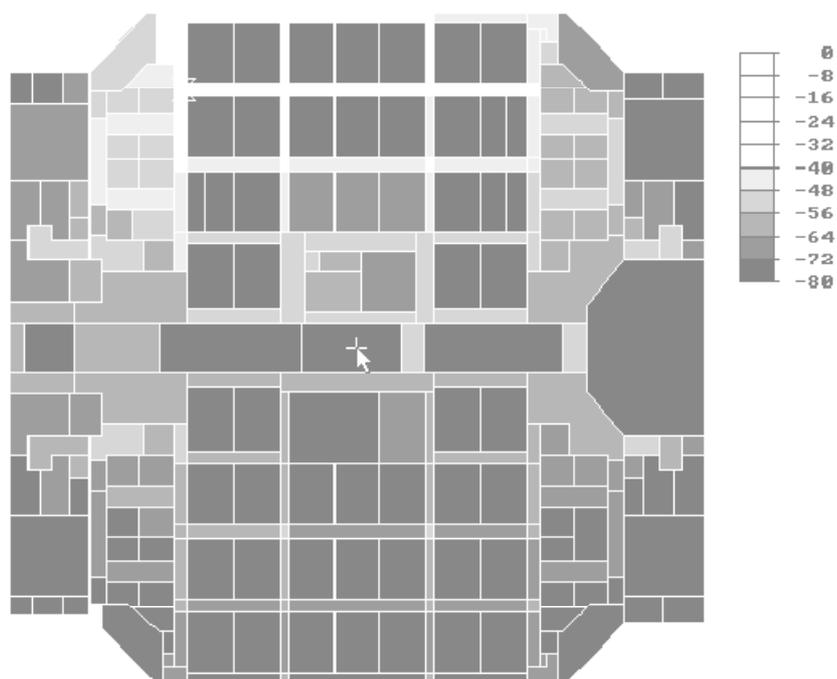
Анализ приведенных примеров свидетельствует об эффективности применения волноводной модели для расчета характеристик распространения сигналов внутри зданий.



а) Здание учебного заведения



б) Торговый центр



в) Административное здание

Рис.2.4. Примеры применения волноводной модели для расчета уровня сигнала на входе приемника

3. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОЛЯ СИСТЕМЫ WI-FI В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

3.1. Постановка задачи

Нарастающая потребность в услугах систем беспроводной передачи данных простимулировало развитие подобных систем, в которых передача данных может осуществляться как между подвижными, так и фиксированными абонентами.

Одним из лидеров в области оказания услуг беспроводной передачи данных есть и остаётся система Wi-Fi. Привлекательность данной системы обосновано доступностью оборудования, их дешевизной а также тем, что различные устройства на сегодняшний день комплектуются штатными приемо-передатчиками, поддерживающими стандарт IEEE 802.11. К таким устройствам относятся многие модели мобильных телефонных аппаратов, большинство карманных персональных компьютеров, все современные ноутбуки, планшеты и т.д.

Учитывая столь высокую популярность данной системы связи среди подвижных и фиксированных пользователей, а также сильную подверженность скоростных характеристик к факторам, существующим в городских условиях, можно утверждать, что любые исследования в этой области имеет практическую ценность и являются актуальными.

Исходя из этого, в данной выпускной квалификационной работе ставится задача анализа особенностей распределения уровней поля системы Wi-Fi в городских условиях.

В качестве оборудования при расчетах и моделировании выбираются характеристики реальных антенн и приемо-передатчиков системы Wi-Fi.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы требуется проведение анализа зоны покрытия на зависимость скоростных характеристик канала передачи данных.

3.2. Расчет зоны действия сигнала

Эта методика позволяет определить теоретическую дальность работы беспроводного канала связи, построенного на оборудовании D-LINK. Следует сразу отметить, что расстояние между антеннами, получаемое по формуле – максимально достижимое теоретически, а так как на беспроводную связь влияет множество факторов, получить такую дальность работы, особенно в черте города, увы, практически невозможно.

Для начала, необходимо вычислить эффективную изотропно-излучаемую мощность. Она определяется по следующей формуле

$$P_{ЭИИМ} = P_{ПРД} - W_{АФТпрд} + G_{ПРД}, \text{ дБм} \quad (3.1)$$

где $P_{ПРД}$ - выходная мощность передатчика, дБм;

$W_{АФТпрд}$ - потери сигнала в АФТ передатчика, дБ;

$G_{ПРД}$ - усиление антенны передатчика, дБи.

Расчет эффективной изотропной излучаемой мощности одной точки доступа (данные представлены в табл.3.1)

Таблица 3.1

Параметры данных

Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Значение
$P_{ПРД}$	выходная мощность передатчика	дБм	25
$G_{ПРД}$	коэффициент усиления антенны	дБи	17
$W_{АФТпрд}$	потери сигнала передатчика	дБ	6

По формуле (3.1) эффективная изотропная излучаемая мощность составляет

$$P_{ЭИИМ} = 25 - 6 + 17 = 36 \text{ дБм}$$

Для определения дальности связи необходимо рассчитать суммарное усиление тракта и по графику определить соответствующую этому значению дальность. Усиление тракта в дБ определяется по формуле

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t,\text{дБ}} + G_{t,\text{дБ}} + G_{r,\text{дБ}} - P_{\text{min},\text{дБ}} \quad (3.2)$$

где $P_{t,\text{дБ}}$ – мощность передатчика;

$G_{t,\text{дБ}}$ – коэффициент усиления передающей антенны;

$G_{r,\text{дБ}}$ – коэффициент усиления приемной антенны;

$P_{\text{min},\text{дБ}}$ – реальная чувствительность приемника;

По графику, приведённому на рис.3.1, находим необходимую дальность работы беспроводного канала связи.

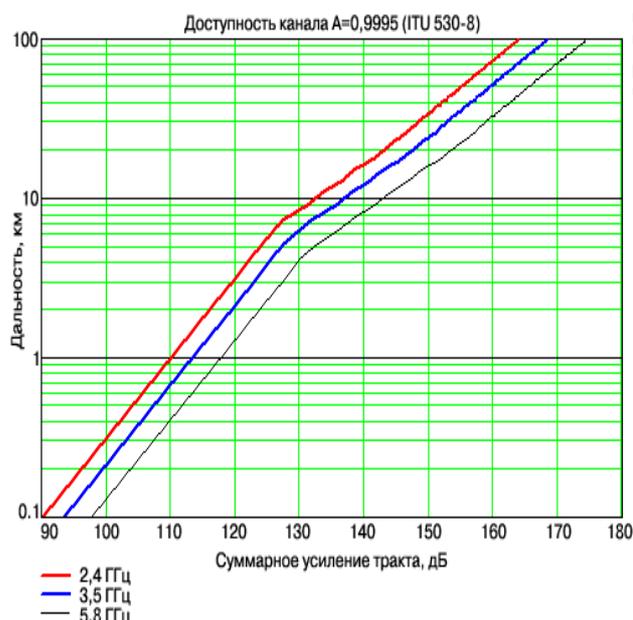


Рис.3.1. График для определения дальности работы беспроводного канала связи

По графику (кривая для 2.4 ГГц) определяем соответствующую этому значению дальность. Получаем дальность равную ~300 метрам.

Без вывода приведём формулу для расчёта дальности. Она берётся из инженерной формулы расчёта потерь в свободном пространстве:

$$FSL = 33 + 20(\lg F + \lg D) \quad (3.3)$$

где FSL (free space loss) – потери в свободном пространстве (дБ);

F – центральная частота канала (МГц);

D – расстояние между двумя точками (км).

FSL определяется суммарным усилением системы. Оно считается следующим образом:

$$G_{\Sigma} = P_t + |P_{min}| + G_t + G_r - W_{afm} - V_{som}$$

где V_{SOM} (System Operating Margin) – запас в энергетике радиосвязи (дБ).

Для каждой скорости приёмник имеет определённую чувствительность. Для небольших скоростей (например, 1-2 Мбит/с) чувствительность наивысшая: от -90 дБм до -94 дБм. Для высоких скоростей, чувствительность намного меньше.

В зависимости от марки радиомодулей максимальная чувствительность может немного варьироваться. Ясно, что для разных скоростей максимальная дальность будет разной.

Учитывает возможные факторы отрицательно влияющие на дальность связи, такие как:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;
- всевозможные погодные аномалии: туман, снег, дождь;
- рассогласование антенны, приёмника, передатчика с антенно-фидерным трактом.

Параметр V_{SOM} берётся равным 15 дБ. Считается, что 15-ти децибельный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

В итоге получим формулу дальность связи:

$$D = 10 \cdot \exp\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right).$$

К примеру, для $P_{min} = -90$ дБм суммарное усиление системы равно

$$G_{\Sigma} = 24 + |-90| + 17 + 0 - 6 - 15 = 110 \text{ дБ}$$

а для $P_{min} = -94$ дБм

$$G_{\Sigma} = 24 + |-94| + 17 + 0 - 6 - 15 = 114 \text{ дБ.}$$

Дальность связи для $P_{min} = -90$ дБм будет равна

$$\begin{aligned}
 D &= 10 \cdot \exp\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right) \\
 &= 10 \cdot \exp\left(\frac{110}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2441,75\right) = 0,47 \text{ км},
 \end{aligned}$$

а для $P_{min} = -94$ дБм

$$\begin{aligned}
 D &= 10 \cdot \exp\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right) \\
 &= 10 \cdot \exp\left(\frac{114}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2441,75\right) = 0,67 \text{ км},
 \end{aligned}$$

Столь малая дальность зоны покрытия обусловлена малой мощностью передатчика, регламентируемой международными документами на нелицензируемый диапазон 2,4 ГГц.

Радиус зоны покрытия может быть увеличена использованием направленных секторных антенн на обеих сторонах. Но, при этом, на передающей стороне необходимо будет установить несколько приемопередатчиков. Их количество будет равно количеству секторов на базовой станции. В этом случае, за счет возможности конфигурирования частотного плана можно будет добиваться более высоких скоростей и их стабильности.

Далее приведем расстояние при использовании секторных антенн на приемной стороне.

В качестве приемного оборудования можно рекомендовать Ubiquity Nano Station loco M2 со штатной секторной панельной антенной с коэффициентом усиления $G_r=8$ дБи.

При этом для $P_{min} = -90$ дБм суммарное усиление системы будет равно

$$G_{\Sigma} = 24 + |-90| + 17 + 8 - 6 - 15 = 118 \text{ дБ}$$

а для $P_{min} = -94$ дБм

$$G_{\Sigma} = 24 + |-94| + 17 + 8 - 6 - 15 = 122 \text{ дБ}$$

Дальность связи для $P_{min} = -90$ дБм будет равна

$$D = 10 \cdot \exp\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right)$$

$$= 10 \cdot \exp\left(\frac{118}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2441,75\right) = 0,87 \text{ км},$$

а для $P_{min} = -94$ дБм

$$D = 10 \cdot \exp\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right)$$

$$= 10 \cdot \exp\left(\frac{122}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2441,75\right) = 1,07 \text{ км},$$

Необходимо указать, что эти значения получены для случая, когда приемная антенна находится на уровне 1,5 м от поверхности земли. При поднятии высоты приемной антенны, конечно же уровень сигнала на входе приемного оборудования увеличится. За счет этого скорость канала увеличится.

3.3. Результаты расчета зоны покрытия системы Wi-Fi

Для определения зоны покрытия сети необходимо проведение сложных математических вычислений по определению уровней поля. Учитывая сложность интерференционной картины поля, её сильную зависимость от наличия и размеров окружающих объектов целесообразно использовать для расчета компьютерное программы по моделированию зон покрытия.

Имеются множество программ для расчета зоны покрытия сети Wi-Fi. Для расчета и анализа зоны покрытия системы Wi-Fi мы тоже воспользуемся одной из таких программ, название которого не называются по соображениям коммерческой тайны.

Теперь приведем примеры моделирования зоны покрытия.

Высота установки передающей антенны 25 м.

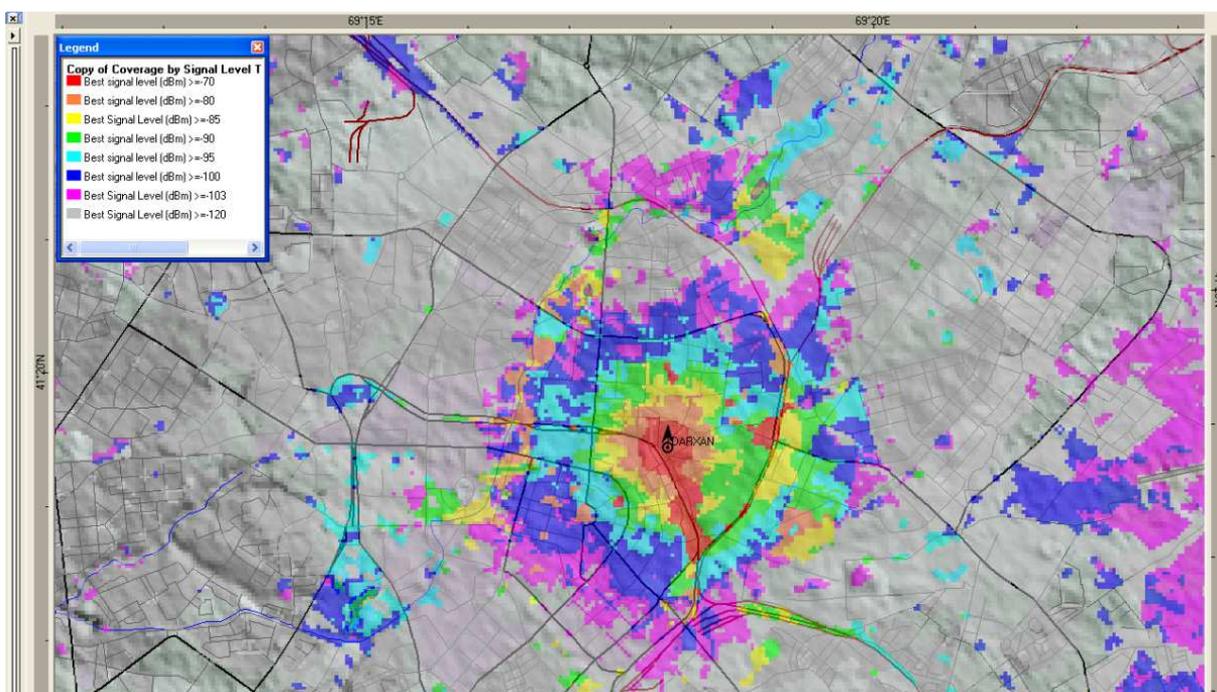


Рис.3.2. Зона покрытия базовой станции Wi-Fi с изотропной передающей антенной (Место установки: Высотное здание на площади Дархан)

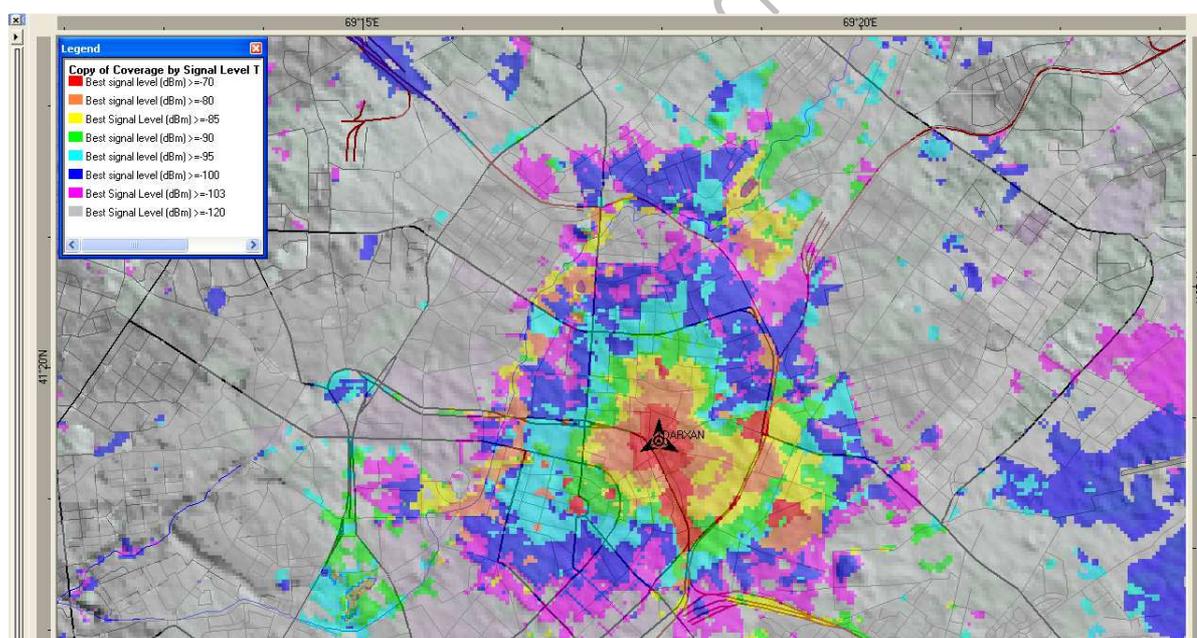


Рис.3.3. Зона покрытия базовой станции Wi-Fi с секторной передающей антенной (Место установки: Высотное здание на площади Дархан)

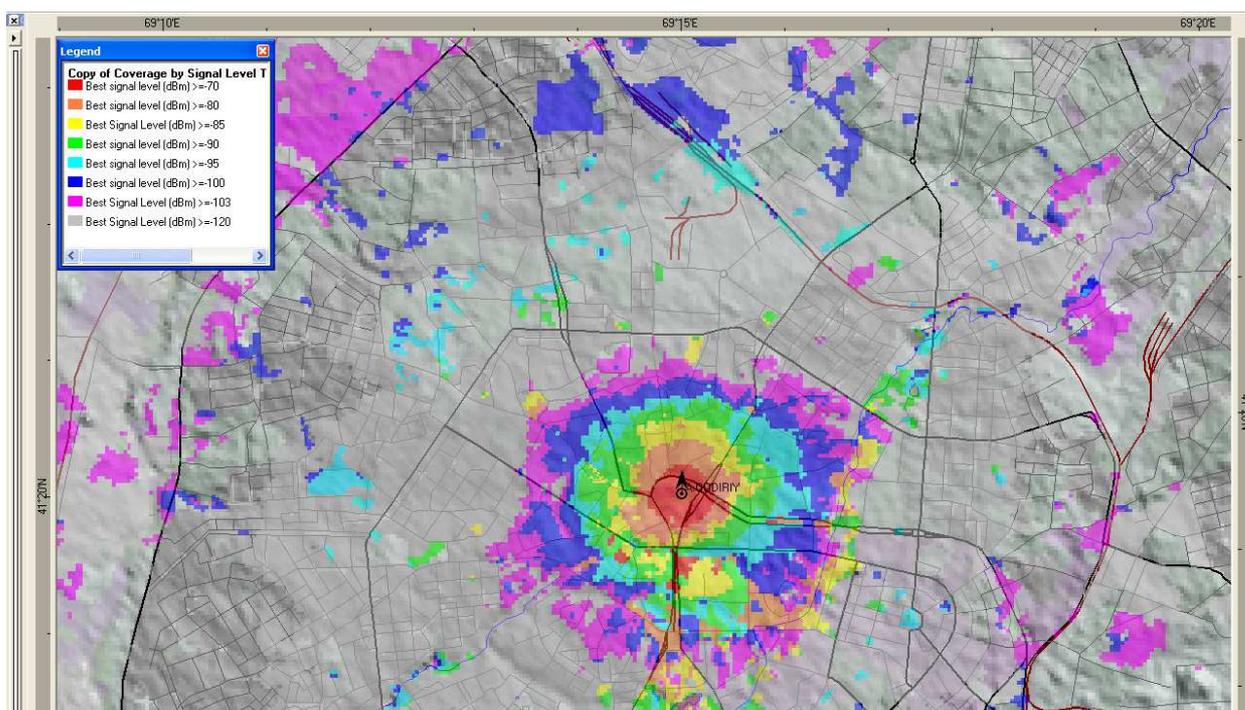


Рис.3.4. Зона покрытия базовой станции Wi-Fi с изотропной передающей антенной (Место установки: Парк культуры имени А. Кадыри)

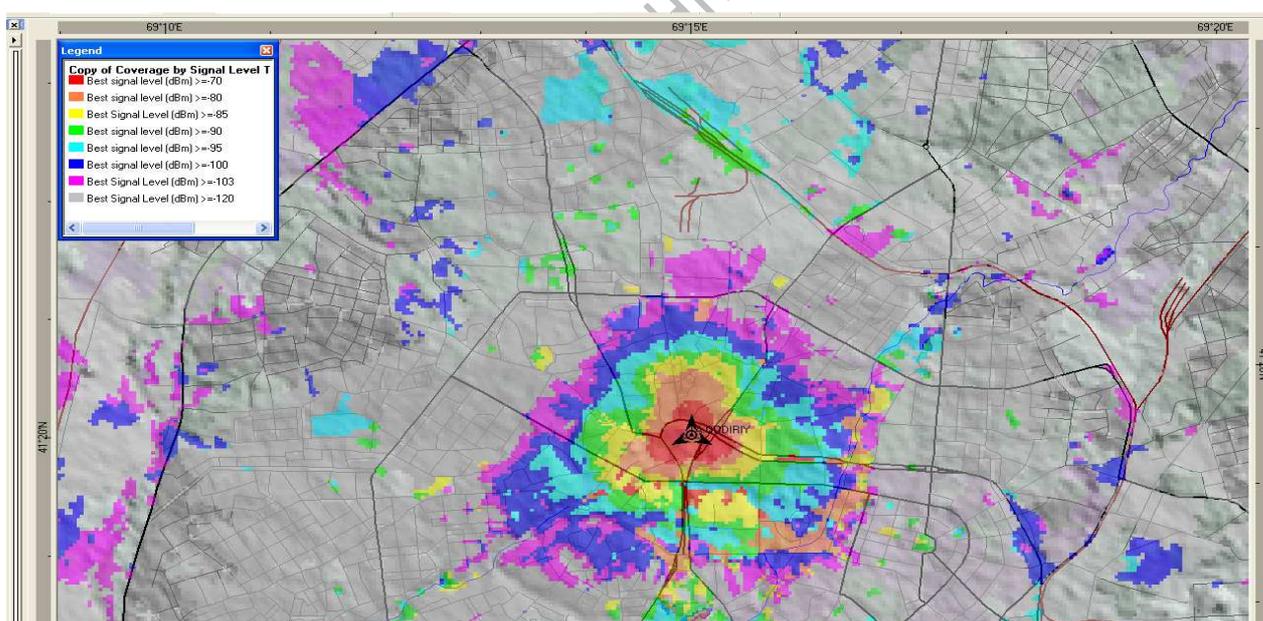


Рис.3.5. Зона покрытия базовой станции Wi-Fi с секторной передающей антенной (Место установки: Парк культуры имени А. Кадыри)

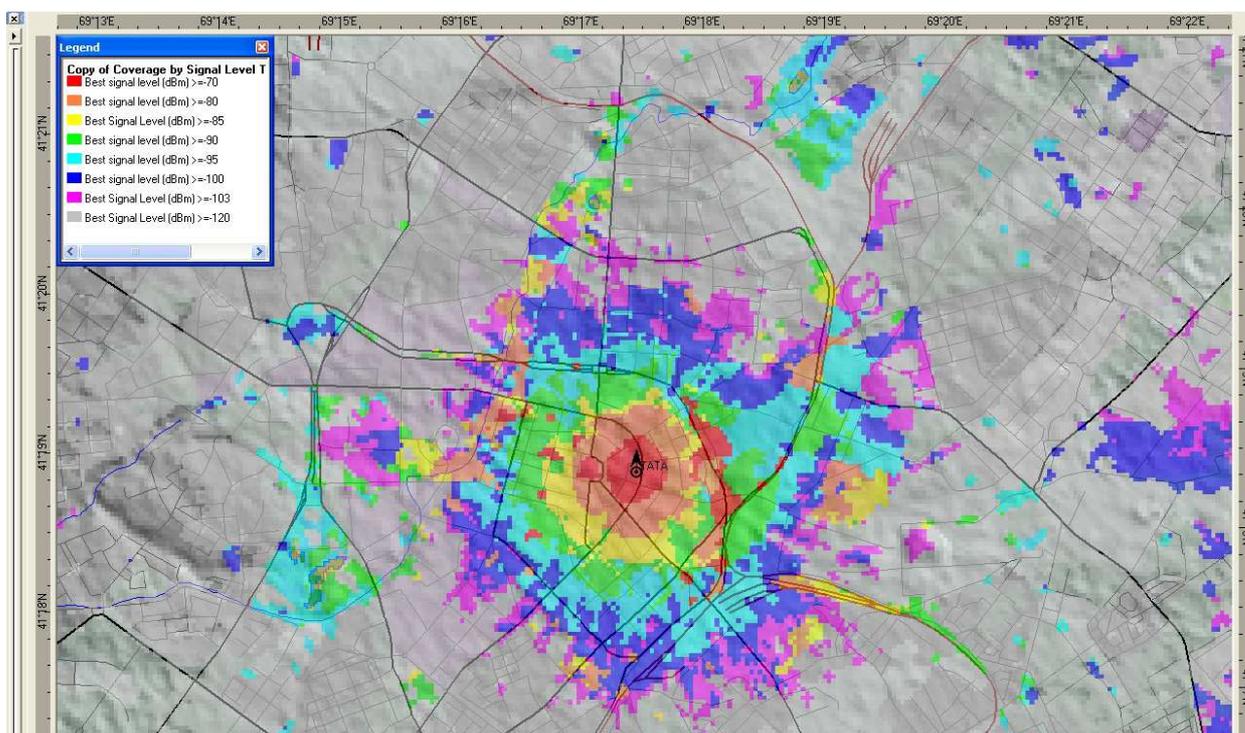


Рис.3.6. Зона покрытия базовой станции Wi-Fi с изотропной передающей антенной (Место установки: Здание гостиницы ТАТА)

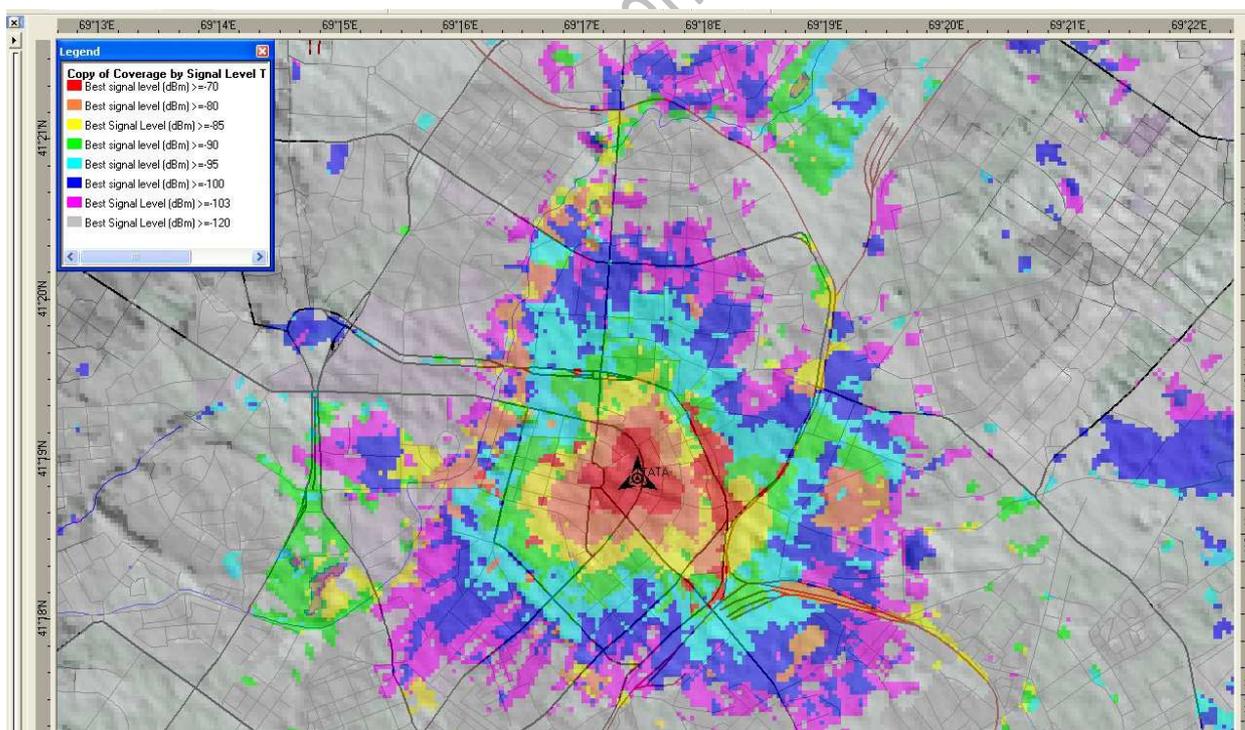


Рис.3.7. Зона покрытия базовой станции Wi-Fi с секторной передающей антенной (Место установки: Здание гостиницы ТАТА)

В качестве выводов на основе анализа карт зон покрытия необходимо отметить следующее:

- при установке на базовой станции изотропной антенны граница зоны покрытия на уровне минимального сигнала -94 дБм составляет 210 метров;

- при установке на базовой станции секторной антенны с коэффициентом усиления 17 дБи граница зоны покрытия на уровне минимального сигнала -94 дБм составляет 520 метров;

Необходимо отметить, что при работе базовой станции только на передачу зона покрытия может быть увеличена в несколько раз и может составлять до 3 км.

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1. Охрана труда при работе с передающими станциями

Передающая станция - объект повышенной опасности. Наличие опасных и вредных производственных факторов при работе на передающей станции обусловлено спецификой труда. Задача охраны труда заключается в обеспечении работающему таких условий труда, чтобы при максимальной производительности утомляемость его была минимальной. В частности, охрана труда рассматривает наличие опасных и вредных факторов при работе на передающей станции, предусматривает меры и мероприятия по предупреждению несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Опасные и вредные производственные факторы делятся по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические.

Одним из источников опасного воздействия на человека является Передающая станция. При работе с передающей станции на судоводителя действуют группы физических и психофизиологических факторов. К физическим в случае работы с передающей станцией относятся:

- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенное значение напряженности в электромагнитной цепи, замыкание которой может произойти через человека;

Психофизическая группа факторов подразделяется на:

- а) физические перегрузки,
- б) нервно - психические перегрузки.

При работе с передающей станцией выделяются нервно - психические перегрузки, выражаемые в умственном перенапряжении.

Итак, в случае работы с передающей станцией учитываются следующие опасные и вредные производственные факторы:

1. повышенный уровень электромагнитных излучений;

2. повышенное значение напряженности в электрической цепи, замыкание которое может произойти через тело человека;
3. умственное перенапряжение.

4.2. Воздействие электромагнитных полей, оптических и ионизирующих излучений на организм человека

В настоящее время в разных областях науки и техники широко используются электромагнитные излучения различных видов. К примеру, возьмем подвижную сотовую связь: здесь мы имеем целый, набор электромагнитных излучений, начиная с радиорелейных трактов и заканчивая окончательным оборудованием оптоволоконного тракта.

Каждый вид излучения обладает, особенностями физического характера и биологического воздействия. Воздействие лучистой энергии, которому могут подвергаться работающие во время трудового процесса, при определенных условиях оказываются для человеческого организма опасным.

Источниками излучения электромагнитных волн могут быть генераторы электромагнитных колебаний, антенные устройства, отдельные СВЧ блоки, катодные выводы магнетронов и т.д.

Электромагнитные поля радиочастот имеют большой диапазон длин волн от 3 км до 1 мм. Степень вредного воздействия электромагнитных полей (ЭМП) радиочастот на человека зависит от интенсивности, времени действия и длины волны источника.

Влияние на организм человека ЭМП большой интенсивности связано в основном с тепловым эффектом и приводит к усиленному кровотоку в органах, предохраняя их от чрезмерного перегрева. Наиболее чувствительны к такому перегреву органы с недостаточно развитой сетью кровоснабжения, например хрусталик глаза и др.

Биологическая активность ЭМП возрастает с уменьшением длины волны, самая высокая активность ЭМП – в области СВЧ.

Длительное воздействие радиоволн при умеренной интенсивности не даёт теплового эффекта, но влияет на биофизические процессы в клетках и тканях, поражает центральную нервную и сердечно - сосудистую систему. Так, например, в начальной фазе происходит повышенная возбудимость, а затем снижение биоэлектрической активности мозга, нарушение условно - рефлекторной деятельности, ухудшение проводимости сердечной мышцы. Наблюдает похудения, выпадение волос, ломкость ногтей. Изменение состояния физиологических систем человека под воздействием ЭМП проявляется в субъективных ощущениях в виде головной боли, быстрой утомляемости, слабости, угнетенного состояния.

Инфракрасное излучение - это оптическое излучение. Оно генерируется любым нагретым телом (термоэлементы, фоторезисторы, болометры, лампы накаливания и др.). В производственных условиях на человека воздействует, лучистое тепло солнца, открытого пламени, нагретого и расплавленного металла, поверхностей оборудования.

Инфракрасное излучение может оказывать неблагоприятное действие на жизненно важные органы человека (мозговые оболочки, мозговую ткань), а также вызывать образование в тканях биологически активных веществ, способствующих повышению температуры тела за счет усиления обмена веществ.

Характер и степень воздействия на человека ультрафиолетового излучения зависит от длины волны. Так, ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 320 нм могут являться причиной профессионального заболевания глаз у электросварщиков и людей, обслуживающих зоны, где установлены ртутно - кварцевые лампы - электроофтальмии. Заболевание возникает через несколько часов работы и выражается в покраснении и припухлости век, ощущения рези и песка в глазах, светобоязни, при этом часто поражается роговица. Большие дозы ультрафиолетового излучения, воздействуют на кожу, вызывают кожные заболевания - дермиты.

В умеренных дозах ультрафиолетовое излучение оказывает положительное действие на организм человека. Улучшается обмен веществ, увеличивается иммунобиологическая сопротивляемость организма, обеспечивается нормальный фосфорно - кальциевый обмен.

Лазер - генератор электромагнитного излучения оптического диапазона, в котором удается получить световой луч большой мощности на определенной длине волны.

Специфическими свойствами светового излучения лазера является острая направленность, монохроматичность, большая мощность. Несфокусированный луч имеет ширину 1 - 2 см, сфокусированный 1 - 0,01 мм и менее. Фокусирование позволяет сконцентрировать огромную энергию на очень небольшой площади и достичь температуры в несколько миллионов градусов.

При работах с лазерами представляет опасность как прямое, так и отраженное излучение. Однако прямое излучение воздействует на персонал лишь при грубом нарушении техники безопасности, поэтому с точки зрения охраны труда более опасно влияние отраженных лучей. Коэффициент отражения этих лучей от стекла, металла, стен помещения довольно высок. Отраженные лучи могут попадать в глаза и на кожу работающих. Наиболее опасно попадание в глаза, так как роговица и хрусталик фокусирует излучение на сетчатке и концентрируют его. По условиям технологии ряд операций выполняется при низкой освещенности, что усугубляет эффект, так как площадь зрачка и чувствительность сетчатки при этом увеличены.

При работе с лазерами большой мощности возможно поражение не только глаз, но и кожи, внутренних органов, мозга. При обследовании работающих наблюдались изменения сердечнососудистой системы. Кроме излучений, на работающих может оказывать влияние стабильный или импульсный шум интенсивностью до 90 — 120 дБ. Обслуживание лазеров требует постоянного внимания и связано с нервно - эмоциональным напряжением.

К ионизирующим излучениям относятся рентгеновские и лучи, представляющие собой электромагнитные колебания с малой длиной волны, а
Только для ознакомительного пользования. Копирование и распространение запрещается

также α - , β - частицы, позитроны, нейтроны - частицы с положительным или отрицательным зарядом или не несущие его.

Ионизирующие излучения могут оказывать влияния на организм, как при внешнем, так и при внутреннем облучении. При внешнем облучении возможно попадание лучей на кожу или более глубокое прохождение их в ткани, что зависит от проникающей способности. По мере удаления от источника интенсивность излучения падает прямо пропорционально квадрату расстояния.

Внутреннее облучение наблюдается при попадании радиоактивных веществ в органы дыхания, желудочный тракт или при всасывании через поврежденную кожу. При внутреннем облучении более опасны α - излучатели, меньше β – и γ – излучатели. Попадая в легкие при вдыхании радиоактивных газов и пыли или пищеварительный тракт, такие вещества не только облучают органы и близлежащие ткани, но всасываются и распространяются по организму с током крови.

Источниками рентгеновского излучения являются электровакуумные приборы, например электронно - лучевые трубки, кенотроны, магнетроны и другие, применяемые в устройствах и системах связи.

4.3. Организационные и технические меры защиты от электромагнитных излучений

Электромагнитная энергия высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот применяется для осуществления радиосвязи, радиовещания и телевидения.

При эксплуатации ВЧ оборудования радиопредприятия в рабочих помещениях и на рабочих местах могут появляться электромагнитные ВЧ, УВЧ, СВЧ поля.

Причиной этому могут быть: некачественное экранирование ВЧ элементов в блоках передатчиков, разделительных фильтрах, волноводах, фидерах и др. Электромагнитные поля ВЧ и УВЧ большой интенсивности бывают в антенных павильонах и на антенных полях.

Источниками СВЧ энергии являются приборы миллиметрового, сантиметрового и дециметрового диапазонов.

При эксплуатации ВЧ оборудования внутри производственных помещений снижение напряженности электромагнитного излучения достигается двумя способами:

Первый способ - хорошее выполнение экранирования источников излучения и устранение неплотностей во фланцевых соединениях волноводного тракта, фидеров, щелей в обшивке корпусов передатчиков, неплотных электрических контактов дверей передатчиков по всему периметру экрана. Для экранирования можно использовать листы или сетки из материала, обладающего высокой электропроводимостью (алюминий, медь, латунь) и магнитной проницаемостью (сталь). Антенные переключатели и антенны должны быть вынесены в отдельные помещения.

Второй способ - проведение дистанционного контроля и управления работой передатчиков из экранированного помещения (кабины). Визуальное наблюдение за работой, оборудования ведется через смотровые окна из стекла с металлизированным слоем или экранирование металлической сеткой.

В тех случаях когда, изложенные способы защиты не дают должного эффекта, применяются средства индивидуальной защиты (СИЗ). В качестве СИЗ используется спец одежда (халаты, костюмы), а для защиты от действия СВЧ энергии, кроме того, и очки (ОРЗ - 5), стекла которых покрыты отражающей светопрозрачной пленкой. Защитная спец одежда изготавливается из радиотехнической ткани с металлизированной нитью.

В диапазоне 300 МГц - 300 ГГц ЭМП распространяется в виде бегущей волны и в этом случае выполняется строгое соотношение между электрической и магнитной составляющими поля. Поэтому в этом диапазоне для количественной оценки облучения ЭМИ принята интенсивность облучения, выраженная в величинах плотности потока энергии (ППЭ) в пространстве. ППЭ - энергии, проходящая за 1 с через 1 м^2 (1 см^2) поверхности. Она выражается в ваттах на квадратный метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$) или в микроваттах на квадратный сантиметр ($\text{мкВт}/\text{см}^2$).

Предельно допустимую плотность потока энергии на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, связанного профессионально с воздействием ЭМП, устанавливают исходя из допустимого назначения энергетической нагрузки на организм и времени пребывания в зоне облучения, однако во всех случаях она не должна превышать $10 \text{ Вт} / \text{м}^2$ ($1000 \text{ мкВт} / \text{см}^2$), а при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше 28°C) - $1 \text{ Вт} / \text{м}^2$ ($100 \text{ мкВт} / \text{см}^2$).

Контроль (измерение) интенсивности электромагнитных излучений проводится периодически не реже 1 раза в год, а также при вводе новых ВЧ установок (оборудования), при реконструкции после ремонта, перестройке схемы, при каждом изменении условий труда обслуживающего персонала.

При обнаружении облучающей энергии ЭМП выше предельно допустимых значений должны быть, предельно приняты меры по устранению указанного нарушения, а при обнаружении мягкого рентгеновского излучения немедленно заменен неисправный электровакуумный прибор.

Для антенных полей радиочастот составляет карту напряженности ЭМП на антенном поле с указанием путей (мест), где напряженность не превышает предельно допустимых значений и ставится знак: «Проходить здесь». Ответственные должностные лица должны строго следить за временем пребывания обслуживающего персонала в местах, подверженных электромагнитному облучению.

4.4. Влияние излучения систем Wi-Fi на здоровье человека

Опасения, что технология беспроводной связи Wi-Fi опасна для человеческого здоровья, не имеют под собой ни малейших оснований, заявили исследователи, опрошенные программой Raporama, выходящей на BBC. Как оказалось, уровень излучения, испускаемый устройствами Wi-Fi, в 600 раз ниже допустимых норм радиоманнитного излучения. Так что Wi-Fi

оказывается куда менее вредной для человека технологией, чем, к примеру, мобильная связь.

По данным Агентства по охране здоровья (Health Protection Agency), человек, использующий спот Wi-Fi в течение года, получает примерно такую же долю облучения, как и тот, кто 20 мин. разговаривает по мобильному телефону.

По его словам, источники излучения в приборах Wi-Fi обычно очень маленькие и не находятся в непосредственной близости от человеческого тела. «Некоторые люди, правда, держат ноутбук на коленях, и, на мой взгляд, мы должны напоминать детям о том, что когда они долго работают в сети, они должны класть ноутбук на стол, а не держать его на коленях», - подчеркивает господин Челлис. Однако даже этот случай не представляет риска для человека, замечают ученые.

По словам профессора физиологии Малкольма Сперрина (Malcolm Sperrin), несмотря на то, что излучение, которое испускают Wi-Fi-устройства, имеет ту же длину волны, что и микроволновые печи, мощность обычного источника Wi-Fi в 100 тыс. раз ниже, чем мощность обыкновенной микроволновой печи. Тем не менее, подчеркивает эксперт, ткани человеческого тела, которые расположены в непосредственной близости от источника Wi-Fi-излучения, могут его поглощать.

По словам специалистов, убежденных в опасности технологии, особенно риску подвергаются дети, поскольку у них более тонкая черепная кость, а нервная система находится в стадии формирования, и в будущем, за счет развития беспроводных технологий воздействие излучения будет только возрастать. Что касается исследований, доказавших безопасность мобильных телефонов в смысле соответствия установленным стандартам, по мнению Филиппа, эти стандарты касаются краткосрочного облучения, но постоянно подверженный воздействию слабых электромагнитных колебаний организм, конечно, меняется. Он приводит в пример наблюдения латвийских ученых, отметивших у тысячи детей,

подвергавшихся излучению уровня wLAN-передатчиков, снижение моторных функций, памяти и внимания.

По мнению Майкла Кларка из британской Ассоциации по защите здоровья (НРА), опасения по поводу Wi-Fi, аргументированные отчетами о вреде мобильных телефонов, безосновательны. Он ссылается на международные исследования, согласно которым излучение от Wi-Fi составляет около 0,00002 от установленного в мире максимума, тогда как пользующийся мобильным телефоном ребенок получает до половины от допустимого уровня.

Научное сообщество не без помощи журналистов сеюшее панику среди родителей и мнительных интернет-пользователей, напоминает, что обсуждать вред от излучения рано, поскольку нынешняя технологичная среда существует и наблюдается недостаточно долго для научной состоятельности подобных выводов.

Согласно исследованию Mayo Clinic, на работу имплантируемых «помощников сердцу» не влияют карманные компьютеры с Wi-Fi. К сожалению, исследование проводилось только на карманных компьютерах с Wi-Fi, то есть влияние других устройств на работу медицинских устройств не бралось в расчёт. Не исследовалось и влияние Wi-Fi адаптеров с искусственно увеличенной мощностью передатчика. С другой стороны, все устройства, соответствующие стандарту Wi-Fi, в теории должны оказывать одинаковое влияние на окружающую среду.

Наконец, в американском патенте за номером 6,506,148 говорится, что в результате стимуляции кожи слабыми электромагнитными полями с определённой частотой около 0,5 или 2,4 Гц, в человеческом организме наблюдаются физиологические процессы, связанные с возбуждением нервных окончаний. Многие компьютерные мониторы и ЭЛТ-телевизоры, демонстрирующие изображения, мигающих с указанными частотами, могут излучать электромагнитные поля достаточной амплитуды для создания подобного эффекта. Поэтому представляется возможным таким образом

воздействовать на нервную систему зрителя путём вывода на экран мигающих изображений.

Так вредно ли излучение от беспроводных точек доступа и прочего оборудования, обеспечивающего беспроводную связь? По всей видимости, понять это мы сможем лишь через несколько десятков лет, когда накопится достаточно статистической информации о заболеваемости, чтобы проследить какие-либо неоспоримые закономерности. В любом случае, исследования в этой области никто не собирается прекращать, хотя излишне осторожных людей некоторые пытаются представить чудаками или даже луддитами, не признающими никаких новых технологий.

Беспроводная связь Wi-Fi может быть опасна для жизни. С такими заявлениями выступили сразу несколько граждан США. По их словам, электромагнитные волны вызывают у них сильную аллергию. В ближайшее время они намерены добиться запрета на использование этого вида связи в своем городе. За последние годы это уже не первый случай, когда Wi-Fi упрекают в опасности для здоровья. По мнению российских экспертов, эти подозрения могут быть вполне оправданны.

«На клеточном уровне могут происходить более тонкие и серьезные изменения. А нынешние санитарные нормы этого совсем не учитывают»

Протестующие заявили, что страдают повышенной чувствительностью к электромагнитным полям, которые образуются вокруг Wi-Fi-устройств и мобильных телефонов. По словам одного из мужчин, от действия этих полей у него даже появляется боль в груди.

В мае прошлого года брюссельский журнал The Bulletin опубликовал большой материал, посвященный этой проблеме. В нем указывалось, что беспроводные технологии передачи данных могут оказывать отрицательное влияние на кору головного мозга.

Более того, согласно проведенным европейскими учеными исследованиям, 3% людей действительно страдают от так называемой

гиперэлектрочувствительности. То есть организм этих людей крайне чувствителен к электромагнитным полям.

По мнению ученых, наибольшему риску подвергаются дети, поскольку у них более тонкая черепная кость, а нервная система находится в стадии формирования. В будущем за счет развития беспроводных технологий воздействие излучения будет только возрастать.

Вместе с тем, согласно данным ВВС, никаких свидетельств того, что беспроводное интернет-соединение негативно влияет на здоровье людей, до сих пор не получено. В качестве примера они привели тот факт, что уровень радиации в зоне беспроводного Интернета в одной из британских школ был втрое меньше, чем уровень излучения от мачты сотовой телефонии.

Радиоволны и другие виды неионизирующей радиации – неотъемлемая часть нашей жизни уже на протяжении века или даже больше, и, если они оказывали бы негативный эффект на здоровье, мы бы его уже заметили», – пояснил профессор Малколм Сперрин эксперт в области медицинской физики.

Российские эксперты в едином мнении касательно воздействия средств беспроводной связи на человека пока не утвердились. Как рассказал корреспонденту газеты ВЗГЛЯД заведующий кафедрой «Экология и промышленная безопасность» Московского государственного технического университета им. Баумана Сергей Смирнов, в данный момент исследований, которые могли бы поставить точку в этом вопросе, не существует. Вместе с тем он допустил, что подозрения по поводу опасности этих волн могут быть оправданны.

«Есть мнение, что более сильное воздействие они могут оказать на беременных женщин и процесс развития плода. В данный момент нормирование электромагнитных воздействий определяют по тепловому воздействию. Когда электромагнитная волна попадает на живые ткани, являющиеся электропроводными, то энергия, по закону сохранения, превращается в тепловую. Именно по количеству этого тепла и судят о вреде.

Но скорее всего, этого недостаточно. Потому что на клеточном и молекулярном уровне могут происходить более тонкие и серьезные изменения. А существующие санитарные нормы этого совсем не учитывают», – отметил Сергей Смирнов.

Вместе с тем он заметил, что проводить аналогию между неизученным воздействием Wi-Fi на человека и ситуацией, когда в середине прошлого века людей лечили от ожирения, по незнанию облучая радиацией, не совсем корректно. «Электромагнитные поля не являются ионизирующими полями, и ионизации молекул не происходит. А следовательно, такие же тяжелые последствия исключены».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе ставилась задача анализа зоны покрытия на зависимость скоростных характеристик канала передачи данных.

В работе был сделан анализ организации сети, его структуры, топологии и перечислены оборудования применяемые при организации канала связи.

В ходе выполнения работы произведен расчет дальности зоны покрытия системы Wi-Fi для случая применения изотропных и секторных антенн на передающей и приемной сторонах.

В третьей главе работы произведены расчеты эффективной изотропной излучаемой мощности и зоны покрытия сети. Приведены карты зон покрытия системы Wi-Fi для трех случаев, в каждом из которых с помощью компьютерной программы промоделирована зона покрытия. Путем анализа карты покрытия сети передачи данных по ней определены расстояния на которых мощность сигнала не падает ниже -94 дБм, где обеспечивается скорость обмена равное 1 Мбит/с.

В разделе безопасности жизнедеятельности приведены материалы по охране труда при работе с передающими станциями, по воздействию электромагнитных полей, оптических и ионизирующих излучений на организм человека, по организационно-техническим мерам защиты от электромагнитных излучений, а также по влиянию излучения систем Wi-Fi на здоровье человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.А. Каримов. 2012 год станет годом поднятия на новый уровень развития нашей родины. //Правда Востока. -№14 (27212) от 20.01.2012 г.
2. В.Вишневецкий, С. Портной, И. Шахнович. Энциклопедия WiMax. Путь 4G. — М.: Техносфера 2009
3. Джон Росс. Wi-Fi. Беспроводная сеть. — М.: НТ Пресс 2007
4. Педжман Рошан, Джонатан Лиэри. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. — М.: Cisco Press 2004
5. Гейер, Джим. Беспроводные сети. Первый шаг: Пер. с англ. — М.: Вильяме, 2005.
6. Росс Дж. Wi-Fi. Беспроводная сеть. — М.: НТ Пресс, 2007.
7. Пролетарский А. В., Баскаков И. В., Чирков Д. Н. Беспроводные сети Wi-Fi. —М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007г.
8. Рошан Педжман, Лиэри Джон. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. — М.: Диалектика-Вильямс, 2004.
9. Okumura J., Ohmori E., Kawano T., Fukuda K. Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service. (Tokyo) // Rev. Elec. Com. Lab.- 1968.- 16.- P. 852-873.
10. Василенко Г.О., Милютин Е.Р. Повышение точности расчета ослабления поля с помощью калибровки и цифровых карт местности // Электросвязь. - 2004. - № 2. С. 38-41.
11. ITU-R Recommendation P.526-10. Propagation by diffraction. Jeneve, 2007.
12. Трифонов П.И. Затухание рассеянных сигналов УКВ при радиосвязи в большом городе / В кн.: X Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Сек. 5.- Иркутск.- М.: Наука, 1972.- С.138-140.
13. Веселов Г.И., Раевский С.Б. Слоистые металлодиэлектрические волноводы. - М.: Радио и связь . 1988 . 248 с.

14. Гуреев А.В. О скорости переноса энергии электромагнитными волнами в регулярном экранированном волноводе // Журнал технической физики. 1990 . Т. 60 . N 11 . С. 23-28 .
15. Гуреев А.В. Свойства нормальных и присоединенных волн в экранированных неоднородно заполненных волноводах // Изв. вузов. Радиофизика. 1990. Т.33. N 8. С. 954-964 .
16. Г.Т.Марков, Б.М.Петров, Г.П.Грудинская. Электродинамика и распространение радиоволн - М.: Сов. радио, 1979 , 376 с.
17. Вайнштейн Л.А.. Электромагнитные волны - М.: Радио и связь, 1988 г., 440с.
18. Гуреев А.В. Метод учета потерь в металле при анализе экранированных резонаторов и волноводов // Радиотехника и электроника. 1985, т.30, 6, С. 1058-1062 .
19. Гуреев А.В. Методы возмущения в задачах о распространении электромагнитных волн в регулярных волноводах // Журнал технической физики . 1991. Т.61. N 10. С. 139-146 .
20. Гуреев А.В. Расчет потерь электромагнитной энергии в полых волноводах // Радиотехника . 1987 . N 9 . С. 59-61 .
21. Гуреев А.В. Расчет добротности СВЧ резонаторов // Радиотехника . 1988 . N 5 . С. 79-81 .
22. Василенко Г.О. Моделирование ослабления сигналов сетей подвижной связи зданиями и сооружениями // Радиотехника. - 2010. - № 1. С. 107
23. Русак О.Н., Малаев К.Р., Занько Н.Г. Безопасность жизнедеятельности. Учебн. пос. – СПб: Изд. Лань – 2001.
24. Куликов Г.Б. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для инженерных направлений и спец. высш. учебн. заведений. –М.: Мир книг, 2010 г.