

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	.....
1 ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА.....	.....
1.1 Сравнение технологий WiMAX и HSPA.....	.....
1.2 Сравнение технологий WiMAX и LTE.....	.....
1.3 Сравнение технологий WiMAX и Wi-Fi.....	.....
2. ШИРОКОПОЛОСНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ДОСТУП ПОД УПРАВЛЕНИЕМ СТАНДАРТА 802.16.....	.....
2.1 Стандарт 802.16: стек протоколов.....	.....
2.2 Стандарт 802.16: физический уровень.....	.....
2.3 Стандарт 802.16: протокол подуровня MAC.....	.....
3. УСЛУГИ И АРХИТЕКТУРА СЕТЕЙ Mobile WiMAX.....	.....
3.1 Услуги сетей технологии Mobile WiMAX.....	.....
3.2 Принципы построения сетей WiMAX.....	.....
3.3 Решения WiMAX с усовершенствованными функциями и рабочими характеристиками.....	.....
4. РАЗРАБОТКА СЕТЕЙ WiMAX ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УСЛУГИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА В ИНТЕРНЕТ.....	.....
4.1 Выбор характеристик радиointерфейса.....	.....
4.2 Расчёт частотных каналов.....	.....
4.3 Определения размерности кластера.....	.....
4.4 Расчёт частотных каналов для обслуживания абонентов БС.....	.....
4.5 Расчёт допустимой нагрузки БС.....	.....
4.6 Расчёт числа абонентов, обслуживаемых одной БС.....	.....
4.7 Расчёт количества БС.....	.....
5. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ БАЗОВЫХ И АБОНЕНТСКИХ СТАНЦИЙ.....	.....
5.1 Выбор оборудования абонентских станций.....	.....
5.2 Выбор оборудования базовых станций.....	.....

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАЗВЁРТЫВАНИИ СЕТИ.....	
6.1 Воздействие радиочастотного поля на организм человека.....	
7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	
7.1 Расчёт себестоимости проекта.....	
7.2 Оценка экономической эффективности внедрения проектируемой сети....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	

## ВВЕДЕНИЕ

Стандарт WIMAX 802.16 (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это технология высокоскоростной беспроводной передачи данных, которая в настоящее время нашла широкое распространение в качестве способа предоставления широкополосного абонентского доступа.

Данный стандарт использует частотный диапазон 10-66 ГГц, что ему позволяет передавать данные со скоростью 120Мбит/с между базовыми станциями.

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

WiMAX технология позволяет обеспечить доступ в интернет со скоростями и зоной покрытия, существенно большими, чем у современных сетей Wi-Fi, но сдерживают развитие WiMAX ограниченный ряд абонентских устройств, т. е. фактическое отсутствие роуминга и отказ крупнейших инвесторов и мобильных операторов от инвестиций в эту технологию.

Современные операторы связи, отдают предпочтение новым технологиям беспроводного абонентского доступа, так как они имеют более лучшие технические параметры, что в свою очередь очень важно в нашем технологичном и прогрессирующем в сфере телекоммуникационных систем мире.

В сетях связи последующих поколений широкополосный доступ займет исключительно важное место, представляя собой одну из фундаментальных составляющих концепции NGN. К нему приковано особое внимание операторов связи в разработчиков нового оборудования. Деятельность по предоставлению услуг широкополосного доступа с большой долей вероятности станет новой крупной нишей телекоммуникационного рынка и уже одно это вызывает повышенный интерес к ним как со стороны инвесторов, так в государственных деятелей.

При рассмотрении проблем широкополосного доступа активно дискутируется вопрос о роля проводных, беспроводных в космических средств связи. По данным маркетинговых исследований, широкополосные беспроводные сети на базе технологий сотовой связи третьего поколения, а также технологий Wi-Fi и WiMAX обладают сегодня исключительными преимуществами по оперативности развертывания, охвату территории, мобильности, предоставляя во многих случаях не только наиболее эффективное, но иногда и единственно возможное экономически оправданное решение.

Таким образом, целью проекта является проектирование информационной сети на основе технологии Mobile WiMAX на территории Пестречинского района для предоставления услуги широкополосного доступа в Интернет.

# 1 ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

## 1.1 Сравнение технологий WiMAX и HSPA

HSPA (High Speed Packet Access — высокоскоростная пакетная передача данных) — технология беспроводной широкополосной радиосвязи, использующая пакетную передачу данных и являющаяся надстройкой к мобильным сетям WCDMA/UMTS. Сравнение систем в таблице 1.1

Данная технология использует частотное дуплексирование (FDD) с шириной каждого дуплексного канала 5 МГц. В нисходящем канале потоковая скорость составляет 14 Мбит/с, а в восходящем 5,8 Мбит/с.

WiMAX в свою очередь использует временное дуплексирование (TDD), которое позволяет достичь в 2-3 раза более высокую скорость передачи данных, так как при TDD общая пропускная способность динамически распределяется между нисходящими и восходящими каналами.

Сравнение систем HSPA и WiMAX таблица 1.1

Параметры	HSPA			WiMAX	
	Релиз 7	Релиз 8	Релиз 8	Релиз 1.5	
Диапазон ГГц	2.0			2.5	
Дуплексирование	FDD			FDD	TDD
Ширина канала МГц	2x5			2x5	10
Антенны БС	1x2	2x2		2x2	
Антенны АС	1x2			1x2	
Модуляции и скорость кодирования					
В нисходящем канале	64 QAM 5/6	16 QAM 3/4	64 QAM 5/6	64 QAM 5/6	
В восходящем канале	16 QAM 3/4			64 QAM 5/6	
Пиковая скорость, Мбит/с					
В нисходящем канале	17,5	21	35	36	48
В восходящем канале	8,3	8,3	8,3	17	24

При сравнении WiMAX и HSPA можно сказать следующие:

- технология WiMAX при одинаковой модуляции, ширине канала имеет в нисходящем канале, по сравнению с HSPA, одинаковые скорости передачи данных
- сам по себе HSPA ограничен шириной канала 10 МГц, в то время как WiMAX поддерживает ширину канала до 20 МГц, как с частотным, так и с временным дуплексированием.

## 1.2 Сравнение технологий WiMAX и LTE

Системы LTE стоит рассматривать как революционное улучшение 3G сетей. Создание LTE ознаменовало переход к новым системам OFDMA от систем CDMA, а так же полный переход к IP – системе коммутации пакетов. Поэтому внедрение этой технологии на уже существующих сетях сотовой связи означает необходимость новых радиочастотных ресурсов для получения преимущества от широкого канала. Для обеспечения обратной совместимости необходимы двухрежимные абонентские устройства. Поэтому плавный переход от систем 3G к LTE весьма сложен.

У сотовых операторов есть определенная тенденция к развертыванию LTE сетей, так как LTE сети имеют более высокие скорости по сравнению с WiMAX. В свою очередь WiMAX и LTE имеют схожую спектральную эффективность и нет ощутимой разницы в качестве параметров этих двух систем.

Если сеть WiMAX основывается полностью на IP-протоколах IEEE, то сеть LTE более сложна, включает больше протоколов, в том числе позаимствованные протоколы из 3G сети. Немаловажно, что интеллектуальная собственность в области технологий WiMAX, соответствующие патенты разделены среди многих компаний, был так же создан патентный альянс, что позволяет снижать цены абонентских устройств. Сравнение ключевых параметров LTE и WiMAX приведено в таблице 1.2

Сравнение ключевых параметров LTE и WiMAX Таблица 1.2

Параметры	LTE	WiMAX релиз 1.5
Дуплексирование	FDD и TDD	FDD и TDD
частотный диапазон для анализа	2000 МГц	2500МГц
ширина канала	до 20 МГц	до 20 МГц
от базы	OFDMA	OFDMA
к базе	SC-FDMA	OFDMA
спектральная эффективность, бит/Гц/с		
нисходящий канал, MIMO (2x2)	1,57	1,59
восходящий канал, SIMO (1x2)	0,64	0,99
максимальная скорость мобильной станции км/ч	350	120
длительность кадра, мс	1	5
нисходящий канал	2x2, 2x4, 4x2, 4x4	2x2, 2x4, 4x2, 4x4
нисходящий канал	1x2, 1x4, 2x2, 2x4	1x2, 1x4, 2x2, 2x4

#### Вывод сравнения LTE и WiMAX:

- мобильный WiMAX и LTE имеют схожие характеристики. В обеих технологиях на линии связи от базы используется OFDMA передача с многоуровневой модуляцией и кодированием сигнала. Пиковые скорости практически одинаковы при одинаковых кратностях модуляции. В обоих используется и FDD, и TDD дуплексирование при ширине канала до 20 МГц.
- мобильный WiMAX имеет двухлетний выигрыш по времени выхода на рынок.
- инвестиции затраченные для преобразования сетей из 2G/3G в LTE и мобильный WiMAX примерно одинаковы.
- для сетей WiMAX и LTE необходим новый частотный спектр.
- мобильный WiMAX совместим с прошлыми версиями технологии.

### 1.3 Сравнение технологий WiMAX и Wi-Fi

WiMAX и Wi-Fi это беспроводные технологии. Основное отличие этих технологий это диапазон их работы. WiMAX обеспечивает подключение абонентов в радиусе 30 км, в то время как Wi-Fi обеспечивает гораздо меньшую зону покрытия, около 100м. Сравнение стандартов беспроводной связи приводнено в таблице 1.3

Сравнительная таблица стандартов беспроводной связи Таблица 1.3

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 метров	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 300 Мбит/с (в перспективе до 600 Мбит/с)	до 100 метров	2,4 — 2,5 или 5,0 ГГц
WiMax	802.16d	WMAN	до 75 Мбит/с	6-10 км	1,5-11 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбит/с	1-5 км	2,3-13,6 ГГц
WiMax 2	802.16m	WMAN, Mobile WMAN	до 1 Гбит/с (WMAN), до 100 Мбит/с (Mobile WMAN)	120-150 км (стандарт в разработке)	н\д (стандарт в разработке)



Так же стоит отметить, что Wi-Fi работает в нелицензированном спектре и из-за этого в некоторых случаях, каналы работы Wi-Fi мешают друг другу. WiMAX наоборот требует покупки лицензии и частоты, что и способствует более качественной, стабильной и высокоскоростной работе данной технологии.

WiMAX и Wi-Fi имеют совершенно различные качества обслуживания (QoS). WiMAX использует механизм, основанный на связи между базовой станцией и устройством абонента. Wi-Fi имеет механизм QoS аналогичный фиксированной Ethernet сети, где пакеты могут приобретать различные приоритеты на основе их тегов.

Несомненным преимуществом технологии Wi-Fi перед WiMAX является то, что в современном рынке абонентских устройств, практически невозможно найти абонентское оборудование которое бы не поддерживало технологию Wi-Fi, гораздо труднее и затратнее найти устройство которое бы поддерживало технологию WiMAX.

## 2 ШИРОКОПОЛОСНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ДОСТУП ПОД УПРАВЛЕНИЕМ СТАНДАРТА 802.16

### 2.1 Стандарт 802.16: стек протоколов

Протоколы, которые использует стандарт 802.16, приведены на рисунке 2.1. На нижнем уровне происходит физическая передача данных. На нем используется узкополосная система с обычными схемами модуляции сигнала.

Уровень передачи данных состоит из нескольких подуровней. Подуровень защиты информации предназначен для защиты передаваемых данных, путём их шифрования и дешифрования. На этом подуровне производится цифрация, дешифрация данных, а также управления ключами доступа.

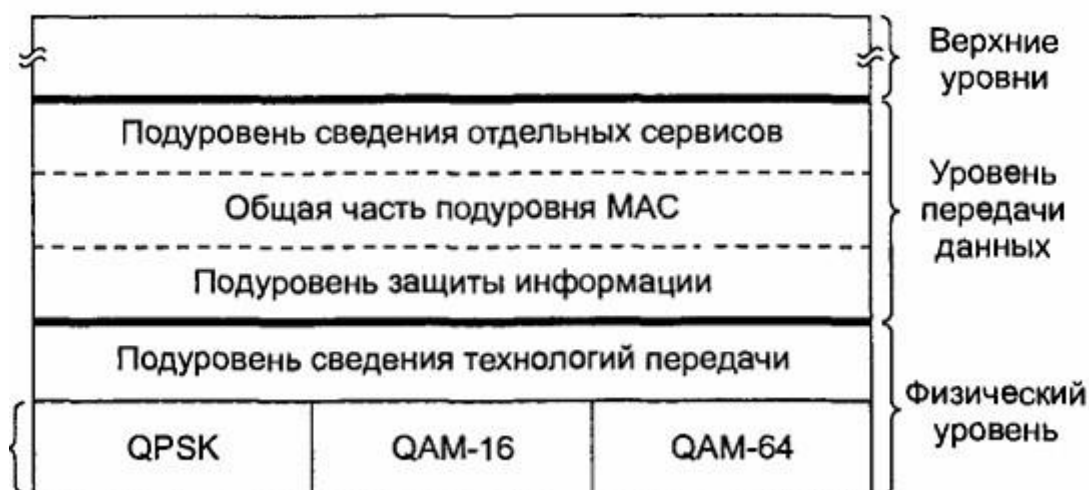


Рис. 2.1 Стек протоколов

Затем следует общая часть подуровня MAC. Именно на этом уровне иерархии располагаются основные протоколы - в частности, протоколы управления каналом. Здесь станция контролирует всю систему. Она очень эффективно распределяет очередность передачи входящего трафика абонентам, немалую роль играет и в управлении исходящим трафиком (от абонента к базовой станции). От всех остальных стандартов 802.x MAC подуровень стандарта 802.16 отличается тем, что он полностью ориентирован на установку соединения.

Таким образом, можно гарантировать определенное качество обслуживания при предоставлении услуг телефонной связи и при передаче мультимедиа.

## 2.2 Стандарт 802.16: физический уровень

Широкополосным беспроводным сетям необходим широкий частотный спектр, который можно найти только в диапазоне от 10 до 66 ГГц. Миллиметровые волны обладают одним свойством, которое отсутствует у более длинных микроволн: миллиметровые волны сами по себе распространяются не во всех направлениях (как например звук), а по прямым линиям (как свет). Из чего следует, что на базовой станции должно быть установлено множество антенн, покрывающих различные секторы обслуживаемой территории как показано на рисунке 2.2. На чём видно, что в каждом секторе будут различные пользователи. Секторы не зависят друг от друга, в сравнении с сотовой связью, в которой сигналы распространяются сразу по всем возможным направлениям.

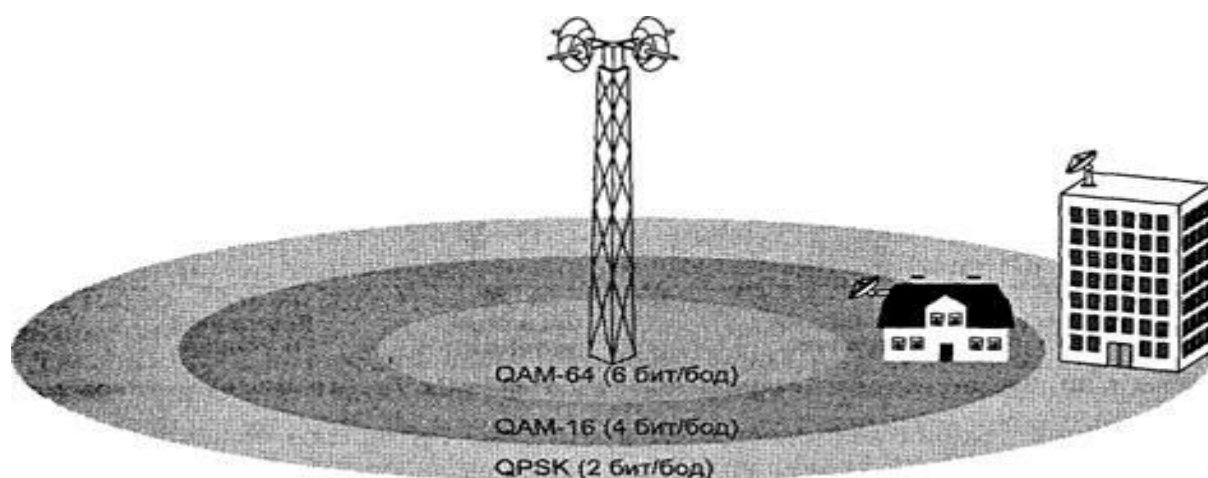


Рис.2.2 среда передачи данных сетей 802.16

Поскольку мощность сигнала передаваемых миллиметровых волн будет уменьшаться с увеличением расстояния от передатчика (то есть базовой станции), то и соотношение сигнал/шум соответственно будет понижаться. Поэтому стандарт связи 802.16 использует три различные схемы модуляции в зависимости от дальности нахождения абонентской станции.

Если абонентская станция расположена недалеко от базовой станции, то применяется QAM-64 (квадратурная модуляция) с шестью битами на отсчет. На небольшом удалении применяется QAM-16 с четырьмя битами на отсчет. Если абонентская станция расположена далеко, то работает схема QPSK (фазовая модуляция) с двумя битами на отсчет. Для примера допустим, что при типичной полосе спектра 25 МГц QAM-64 дает скорость 150 Мбит/с, QAM-16 - 100 Мбит/с, а QPSK - 50 Мбит/с. Следовательно, можно сказать, чем дальше находится абонент от базовой станции, тем ниже скорость передачи данных.

Стандарт 802.16 позволяет достичь гибкость распределения полосы пропускания. Применяются две схемы модуляции: FDD (дуплексная связь с частотным разделением) и TDD (дуплексная связь с временным разделением). Дуплексная связь с временным разделением каналов показана на рисунке 2.3. Базовая станция периодически передает кадры, разделенные на временные интервалы. Первая часть временных интервалов отводится под входящий трафик. Затем следует защитный интервал (разделитель), позволяющий станциям переключать режимы приема и передачи, а за ним - интервалы исходящего трафика. Число отводимых тактов может динамически меняться, что в свою очередь позволяет подстроить пропускную способность под трафик каждого из направлений.



Рис.2.3 Дуплексная связь с временным разделением

Входящий трафик делится на временные интервалы базовой станцией. Она полностью контролирует это направление передачи. Исходящий трафик от абонентов управляется другим образом и зависит от требуемого качества обслуживания.

Еще одним любопытным свойством физического уровня является его способность упаковывать несколько соседних кадров MAC в одну физическую передачу.

Для непрямого исправления ошибок на физическом уровне используется код Хэмминга. Все нынешние технологии просто опираются на контрольные суммы и обнаруживают ошибки с их помощью, запрашивая повторную передачу повреждённых/испорченных фрагментов. Но следует учитывать, что в широкополосной беспроводной связи на больших расстояниях возникает много ошибок, что их обработкой приходится заниматься физическому уровню, хотя на более высоких уровнях и применяется метод контрольных сумм. Основная задача коррекции ошибок на физическом уровне состоит в том, чтобы заставить канал выглядеть лучше, чем он есть на самом деле (точно так же компакт-диски кажутся столь надежными носителями только лишь благодаря тому, что больше половины суммарного числа бит отводится под исправление ошибок на физическом уровне).

### 2.3 Стандарт 802.16: протокол подуровня MAC

Кадры MAC всегда захватывают целое число временных интервалов физического уровня. Каждый кадр разделен на части, первые две из которых содержат карту распределения интервалов между входящим и исходящим трафиком. Там находится информация о том, что передается в каждом такте, а также о том, какие такты на данный момент свободны. Карта распределения входящего потока содержит также разнообразные системные параметры, которые важны для станций, только что подключившихся к эфиру.

Канал входящего трафика от базовой станции, уже предопределен и сама базовая станция решает, что она разместит в каждой части кадра. Когда как исходящий канал имеет различные и конкурирующие между собой станции, которые хотят получить доступ к нему. По этому распределение кадра тесно связано с вопросом качества обслуживания.

## 3 УСЛУГИ И АРХИТЕКТУРА СЕТЕЙ Mobile WiMAX

### 3.1 Услуги сетей технологии Mobile WiMAX

Сети WiMAX предназначены для обслуживания как неподвижных, так и подвижным абонентов. WiMAX поддерживает следующие виды мобильности:

- фиксированный (fixed). В этом случае с оператором согласовывается положение пользователя, в котором он получает обслуживание, например, конкретная сота. Для этого хорошо подходят пользовательские терминалы с закрепленной снаружи здания антенной, направленной на базовую станцию.
- блуждающий (nomadic), т.е. с изменяемым местоположением. Абонент имеет возможность подключиться к сети оператора из любого места, где оператор предоставляет услуги связи. В течение одной сессии абонент должен быть неподвижен, т.е. не должен покидать зоны соты в которой он выходит на связь.
- передвижной (portable). Абонент имеет возможность перемещаться со скоростью до 5 км/ч без потери установленной сессии. Во время handover (т.е. перемещение абонента из соты в соту и поэтапная передача его к другим базовым станциям) допускаются перерывы в передаче данных до 2 с. Так же, следует учесть, что допускаются потери данных во время handover, заданное качество обслуживания, QoS, восстанавливается только после завершения handover.
- ограниченная мобильность (simple mobility). Абонент может перемещаться, в том числе переходить из соты в соту, со скоростью до 60 км/ч без ухудшения качества обслуживания, и до 120 км/ч с допусаемым постепенным ухудшением качества обслуживания. Для приложений нереального (non-real time) времени (работа с e-mail, с Интернет, просмотр видео с буферизацией данных, передача файлов по FTP, IPsec/VPN) качество обслуживания гарантируется.

Время handover не должно превышать 1с при переключении между IP подсетями и 150 мс в пределах одной подсети, время прерывания передачи данных не превышает 150 мс.

- полная мобильность (full mobility). Пользователь может передвигаться, в том числе переходить из соты в соту, со скоростью до 120 км/ч без ухудшения качества обслуживания. Гарантируется качество обслуживания для приложений реального времени (VoIP, видеотелефония, просмотр видео без буферизации) и нереального времени. Время handover не превышает 50 мс, время прерывания передачи данных не более 5 мс (или не более длительности одного кадра).

### 3.2 Принципы построения сетей WiMAX

Базовая модель (БМ) сети WiMAX — это логическое представление сетевой архитектуры WiMAX. Термин —логическое в данном случае означает, что модель рассматривает набор стандартных логических функциональных модулей и стандартных интерфейсов (точек сопряжения модулей).

БМ включает три основных элемента: множество абонентских (мобильных) станций (АС), совокупность сетей доступа (ASN, Access Service Network) и совокупность сетей подключения (CSN, Connectivity Service Network). Кроме того, в БМ входят так называемые базовые точки (R1...R8), через которые происходит сопряжение функциональных модулей.

Сеть ASN принадлежит провайдеру сети доступа (NAP, Network Access Provider) — организации, предоставляющей доступ к радиосети для одного или нескольких сервис-провайдеров WiMAX (NSP, Network Service Provider).

Сеть доступа ASN представляет собой множество базовых станций беспроводного доступа по стандарту IEEE 802.16 и шлюзов для связи с транспортной IP-сетью.

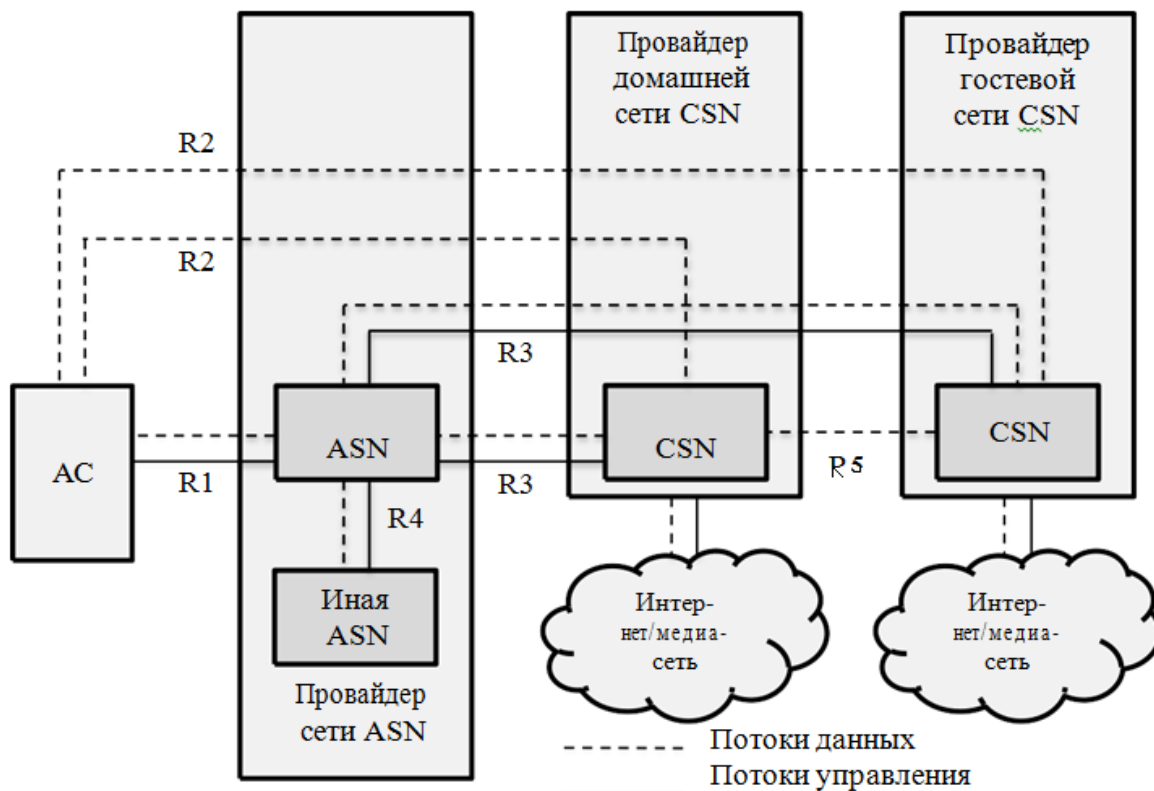


Рис.2.4 Базовая модель сети WiMAX

Сети ASN отвечают за передачу данных AC на втором логическом уровне и передают служебные и информационные сообщения AC, поступающие от сетей CSN. Состояния готовности к подключению и обеспечение целостного включения в сеть WiMAX для каждой AC накладывает следующие функциональные требования к ASN:

- обнаружение сети и выбор предпочитаемого абонентом WiMAX NSP;
- подключение AC к сети в соответствии с правилами второго логического уровня IEEE 802.16;
- реализация транслирующей функции для организации подключений AC на третьем логическом уровне (выделение IP-адресов);
- управление радиоресурсами сети;
- управление групповыми и широковещательными рассылками; поддержка мобильности с привязкой к ASN;
- поддержка внешних агентов для мобильности с привязкой к ASN;



- управление персональными вызовами и службами для определения местоположения абонентов;
- продвижение данных; авторизация сервисных потоков; поддержка уровней QoS;
- управление доступом и контроль над соблюдением правил.

Перечисленные функции сетей ASN распределяются между БС и шлюзами ASN в соответствии с профилями, определенными в документе Release 1.0 форума WiMAX. На сегодняшний момент описано три таких профиля: А, В и С. Все профили обеспечивают функциональную совместимость между CSN и другими ASN через специальные опорные точки.

Опорные точки в рамках базовой модели сети WiMAX - это каналы связи между базовыми модулями. Они определяют собой стандартные интерфейсы, причем не обязательно физические, если соединяемые опорной точкой модули конструктивно находятся в одном устройстве. Назначение опорных точек описано в таблице 3.1. Опорные точки необходимы для того, чтобы улучшить функциональную совместимость устройств, выпускаемых различными производителями.

Назначение опорных точек БМ сети WiMAX IEEE 802.16 Таблица 3.1

Опорная Точка	Назначение
R1	Канал связи между мобильной станцией и сетью доступа ASN, беспроводный интерфейс стандарта IEEE 802.16.
R2	Канал между МС и шлюзом ASN или CSN, включает процедуры аутентификации, авторизации АС и IP-конфигурирования. Данная точка представляет собой логический интерфейс, который обычно используется для аутентификации, авторизации конфигурирования IP и управления мобильность АС.
R3	Содержит набор протоколов для взаимодействия ASN и CSN для реализации процедур AAA и контроля над выполнением правил сети. Данная опорная точка применяется, когда АС находится в гостевой сети и обменивается информацией с домашней сетью.

R4	Канал связи между ASN-шлюзами различных ASN-сетей или одной ASN-сети. Данная опорная точка используется при перемещении АС между различными ASN. В отличие от предыдущих точек, между точками R4 могут создаваться защищенные соединения, в том числе, с использованием протоколов IP-Sec или SSL VPN.
R5	Канал связи между сетью домашнего и гостевого сервис-провайдера.
R6	Интерфейс между БС и ASN.
R7	Виртуальный канал между блоками DP и EP в ASN-шлюзах.
R8	Канал связи непосредственно между БС. Данная опорная точка применяется для передачи сигнализации в процессе хэндовера и при балансировке нагрузки между несколькими БС. Так же, как и для точек R4, между точками R8 могут создаваться защищенные соединения, в том числе, с использованием IP-Sec или SSL VPN.

БС WiMAX является логическим объектом, который реализует радио интерфейс и интерфейс к IP-сетям. БС реализует физический уровень и MAC-подуровень стандарта IEEE 802.16, а также одну или несколько функций ASN для взаимодействия со шлюзом ASN и другими БС.

БС может взаимодействовать с несколькими шлюзами ASN для балансировки нагрузки или обеспечения избыточности передаваемых данных. Физически БС может включать в себя несколько объектов БС, так как БС определена как логический объект. Основным элементом БС является планировщик задач, осуществляющий управление частотно - временными ресурсами сети при организации обмена в нисходящем и восходящем каналах связи.

### 3.3 Решения WiMAX с усовершенствованными функциями и рабочими характеристиками

Для достижения более высокого энергетического потенциала линий связи (link budget), уменьшения затухания сигналов и лучшего покрытия, могут быть использованы различные технологии разнесения.

Вариант MIMO A с одной принимающей антенной известен также как режим STC (Space Time Coding – прием с пространственно-временным кодированием) и особенно пригоден в условиях когда сети развёртываются оперативно.

Решением SI3000 Light ASN предусматривается простой сетевой дизайн и использование «commodity» элементов для установления мобильных соединений на сети провайдера услуг. Результатом этого является наличие механизма хэндовера и продолжения IP-сеанса, обеспечивающего хэндовер не в реальном масштабе времени для фиксированной WiMAX сети и хэндовер операторского класса для мобильной WiMAX сети. Решение SI3000 Light ASN поддерживает также стандартные сетевые элементы, находящиеся за пределами ASN.

Light ASN от Iskratel может предложить:

- мобильные услуги со значительно меньшими затратами на инфраструктуру.
- В решении SI3000 Light ASN используется новая сетевая архитектура (New Network Architecture), представляющая собой уникальную структуру, позволяющую использовать недорогие и однородные сетевые элементы для создания управляемых, мобильных, насыщенных мультимедийными услугами сетей.

Преимущества новой сетевой архитектуры:

- Уникальная и новаторская архитектура;
- Развертывание однородных (commodity) элементов (коммутатор, маршрутизатор) с небольшими затратами;
- Обеспечивается механизм хэндовера и продолжения IP-сеанса;
- Обеспечивает возможность управления QoS для доставки услуг Triple Play.

## 4 РАЗРАБОТКА СЕТЕЙ WiMAX ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УСЛУГИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА В ИНТЕРНЕТ

### 4.1 Выбор характеристик радиointерфейса

Базовая станция WiMAX представляет собой модульное решение, которое может по мере необходимости дополняться различными блоками, например, модулями для связи с магистральной сетью провайдера. В минимальной конфигурации устанавливается модуль радиointерфейса и модуль соединения с проводной сетью.

При выборе оборудования WiMAX кроме его технических характеристик и цены важное и зачастую определяющее значение представляет такой фактор, как специфические для России трудности оформления частотных разрешений. Дело в том, что в России практически не существует «безлицензионных» диапазонов. Для разных типов оборудования предусмотрен различный порядок получения частотных разрешений. Для работы в любых диапазонах операторы связи должны получить достаточно сложные и многоуровневые разрешения как частотных служб, так и служб надзора за связью.

Очевидно, что в нашей стране главным фактором, влияющим на скорость внедрения систем WiMAX, являются вопросы регулирования спектра, так как развитие рынка услуг WiMAX напрямую зависит от выделения операторам необходимого частотного ресурса. Сегодня наиболее перспективными с точки зрения будущего развития технологии WiMAX являются диапазоны в районе 2,4, 3,5 и 5,6 ГГц.

Оборудование должно производиться специализированной компанией, имеющей опыт разработки и производства беспроводного оборудования, что является некоторой гарантией качества.

Технические характеристики оборудования, предоставляемые производителем, должны быть достаточно полными, для того чтобы по ним можно было сделать вывод о его возможностях.

Представление таких характеристик говорит о профессионализме сотрудников и в определенной мере гарантирует, что речь идет об оригинальном продукте, а не о перепродаже малоизвестного бренда под торговой маркой продавца.

Желательно, чтобы базовая станция имела возможность секторирования и поэтапного наращивания производительности, для чего она должна иметь возможность подключения внешней антенны. Тогда на первом этапе достаточно одной базовой станции с всенаправленной антенной, на следующем — двух, с антеннами с шириной диаграммы  $180^\circ$ , и так далее.

Оборудование должно быть сертифицировано. Должна быть возможность получения разрешения на использование частот в диапазонах, используемых оборудованием. Система должна обладать приемлемой стоимостью, причем в первую очередь важна минимальная стоимость абонентского оборудования.

Принцип действия Mobile WiMAX идентичен сетям сотовой связи: несколько рядом расположенных базовых станций Mobile WiMAX образуют соту, соты объединяются между собой и обеспечивают непрерывное покрытие целого города. Оборудование Mobile WiMAX обеспечивает большую скорость передачи данных, по сравнению с сотовыми сетями, и сравнима со скоростью доступа в проводных сетях. Основные характеристики WiMAX устройства:

Технические характеристики WiMAX :

- Дальность действия: до 60 км;
- Максимальная скорость передачи данных: до 70 Мбит/с на сектор одной базовой станции;
- Рабочая частота: 2-11 ГГц;
- Спектральная эффективность: до 5 бит/сек/Гц;
- Покрытие: расширенные возможности работы вне прямой видимости значительно улучшают качество покрытия обслуживаемой зоны;

- Скорость доступа в интернет в пределах сектора базовой станции на клиентских устройствах – до 10 Мбит/с;
- Зона действия одного сектора базовой станции в условиях плотной застройки – от 800 до 1500 метров;
- Мобильность: мгновенное переключение клиентского Mobile WiMAX оборудования между базовыми станциями на скорости движения до 120 км/ч.

#### 4.2 Расчёт частотных каналов

Общее число частотных каналов, выделенных для развертки сотовой сети связи в данном месте, определяется по формуле:

$$N_K = \text{int}\left(\frac{\Delta F}{F_K}\right) \quad (4.1)$$

$$N_k = \text{int}\left(\frac{2,4 \cdot 10^6}{1500}\right) = 128$$

где  $\text{int}(x)$  – целая часть числа  $x$ ;

$\Delta F$  – частотный спектр;

$F_k$  – полоса частот, занятая одним частотным каналом системы (частотный разнос между каналами).

#### 4.3 Определение размерности кластера

Для определения необходимой размерности кластера  $C$  при заданных значениях  $p_0$  и  $p_t$  используют соотношение.

$$p(C) = \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \right] \times 100 \quad (4.2)$$

где  $p(C)$  – процент времени, в течение которого соотношения мощность сигнала/мощность помехи на входе приемника MS будет находиться ниже защитного отношения  $p_0$ .

Интеграл представляет собой табулированную Q-функцию:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (4.3)$$

Нижний предел этого интервала имеет вид:

$$X_1 = \frac{10 \lg\left(\frac{1}{\beta_e}\right) - \rho_0}{\alpha_p}, \quad (4.4)$$

где  $\rho_0$  и  $\alpha_p$  выражены в дБ;

$\beta_e$  – определяется соотношением:

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^M \beta_i\right) \exp\left[\frac{\gamma^2(\alpha^2 - \alpha_e^2)}{2}\right], \quad (4.5)$$

В свою очередь значения  $\alpha_p$  и  $\alpha_e$  определяются по формулам:

$$\alpha_p^2 = \alpha^2 + \alpha_e^2, \quad (4.6)$$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln\left\{1 + [\exp(\gamma^2 \alpha^2) - 1] \frac{\sum_{i=1}^M \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^M \beta_i\right)^2}\right\} \quad (4.7)$$

$\alpha$  – параметр, который определяет диапазон случайных флуктуаций уровня сигнала в точке приема.

Коэффициент  $\beta_i$  представляет собой медианное значение затухания радиоволн на  $i$ -му направлении увеличении помехи. Эти коэффициенты обратно пропорциональны четверти ступени расстояния до источника помехи. Величина  $M$  обозначает число базовых станций, которые «мешают», расположенных в соседних кластерах.

Сначала рассмотрим случай, для всенаправленной антенны, где

$$\varphi = 360^\circ, N_s=1, \dots \text{ и } \beta_1 = \beta_2 = (q - 1)^{-4}, \beta_3 = \beta_4 = q^{-4},$$

$$\beta_5 = \beta_6 = (q + 1)^4;$$

где  $N_s$  - число секторов.

Выберем значение  $C=3$ .

$$\gamma = 0,1 \ln 10 = 0,23$$

$$q = \sqrt{3 \cdot C} \quad (4.8)$$

$$q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3$$

Определим  $\alpha_e^2$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0,23^2} \ln\left\{1 + [\exp(0,23^2 \cdot 5^2) - 1] \frac{\sum_{i=1}^6 \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^6 \beta_i\right)^2}\right\} = 16,364 \text{ дБ.}$$

Вычислив квадратный корень, из получившегося значение получаем:

$$\alpha_e = \sqrt{16,364} = 4,045 \text{ дБ}$$

Отсюда следует:

$$\alpha_\rho = \sqrt{5^2 + 4,045^2} = 6,431 \text{ Дб}$$

$$\beta_e = \left( \sum_{i=1}^6 \beta_i \right) \exp \left[ \frac{0,23^2 (5^2 - 4,045^2)}{2} \right] = 643,908 \text{ дБ}$$

Теперь вычислим нижнюю границу Q-функции:

$$X_1 = \frac{10 \lg \left( \frac{1}{643,908} \right) - 10}{6,431} = -5,922$$

Этому значению в таблице соответствует величина, равная  $1 - 0,161 \cdot 10^{-8}$ , это значение приблизительно равно единице. Считая по формуле (4.2), получаем,

$$\rho(C) \approx 1 \cdot 100 = 1$$

Получившееся значение явно больше  $\frac{P_C}{P_{III}}(\rho_0)$ , которое из задания равно 10. Отсюда следует, что данный тип антенны и выбранное значение кластера не подходит для указанного стандарта.

Теперь рассмотрим случай для направленной антенны, у которой угол диаграммы направленности  $\varphi = 120^\circ$ ,  $N_S=3$ ,  $M=2$

$$\beta_1 = (q + 0,7)^{-4}, \beta_2 = q^{-4}.$$

Выберем значение  $C=4$ .

$$q = \sqrt{3 \cdot 4} = 3,464$$

Определим  $\alpha_e^2$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0,23^2} \ln \left\{ 1 + [\exp(0,23^2 \cdot 5^2) - 1] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{(\sum_{i=1}^2 \beta_i)^2} \right\} = 17,682 \text{ дБ}$$

Вычислив квадратный корень из получившегося значения получаем:

$$\alpha_e = \sqrt{17,682} = 4,205 \text{ дБ}$$

Отсюда следует:

$$\alpha_\rho = \sqrt{5^2 + 4,205^2} = 6,533 \text{ Дб}$$



$$\beta_e = \left( \sum_{i=1}^2 \beta_i \right) \exp \left[ \frac{0,23^2 (5^2 - 4,025^2)}{2} \right] = 0,012 \text{ дБ}$$

Теперь вычислим нижнюю границу Q-функции:

$$X_1 = \frac{10 \lg \left( \frac{1}{0,012} \right) - 10}{6,533} = 1,384$$

Этому значению в таблице соответствует величина, равная 0,0838.

Считая по формуле (4.2), получаем:

$$\rho(C) = 0,0838 \cdot 100 = 8,38$$

Получившееся значение немного меньше  $\frac{P_C}{P_{III}}(\rho_0)$ , отсюда вытекает, что данный тип антенны является наиболее оптимальным.

#### 4.4 Расчет частотных каналов для обслуживания абонентов БС

Число частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов в одном секторе, определяется по формуле:

$$n_S = \text{int} \left( \frac{N_k}{C \cdot N_S} \right), \quad (4.9)$$

$$n_S = \text{int} \left( \frac{128}{4} \cdot 3 \right) = 10$$

где  $N_S$  - число секторов.

#### 4.5 Расчет допустимой нагрузки БС

Величина допустимой нагрузки в одном секторе определяется соотношением:

$$A = n_0 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( P_B \sqrt{\pi \cdot \frac{n_0}{2}} \right) \frac{1}{n_0}} \right], \quad (4.10)$$

при условии, что

$$P_B \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_0}}, \quad (4.11)$$

где  $n_0 = n_S \cdot n_a$ ;

$n_a$  - число абонентов, которые могут одновременно использовать один частотный радиоканал. В данном случае величина  $n_a=1$ , т.к. используется аналоговый стандарт.

$$\sqrt{\frac{2}{\pi \cdot 10}} = 0,252$$

Подкоренное выражение больше, чем величина  $P_B$ , т.к.  $0,11 < 0,252$ .

$$A = 10 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( 0,11 \sqrt{\pi \cdot \frac{10}{2}} \right) \frac{1}{10}} \right] = 7,117 \text{ Эрл}$$

#### 4.6 Расчет числа абонентов, обслуживаемых одной БС

При заданной активности одного абонента в час наибольшей нагрузки можно рассчитать число абонентов, которые обслуживаются одной БС по формуле:

$$N_{aBTS} = \text{int}(N_a / N_{BTS}), \quad (4.12)$$

$$N_{aBTS} = \text{int} \left( \frac{7,17}{0,026} \right) \cdot 3 = 828$$

#### 4.7 Расчет количества БС

Необходимое число базовых станций на заданной территории обслуживания определяется соотношением:

$$N_{BTS} = \text{int} \left( \frac{N_a}{N_{aBTS}} \right), \quad (4.13)$$

$$N_{BTS} = \text{int} \left( \frac{3600}{828} \right) = 13$$

где  $N_a$  - заданное число абонентов, которых обслуживает сотовая сеть связи.

#### 4.8 Расчет радиуса зоны обслуживания БС

Величину радиуса можно определить, используя выражение

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{BTS} \cdot \pi}}, \quad (4.14)$$

$$R = \sqrt{1,21 \frac{280}{43 \cdot \pi}} = 1,584 \text{ км}$$

## 5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ БАЗОВЫХ И АБОНЕНТСКИХ СТАНЦИЙ

### 5.1 Выбор оборудования абонентских станций

Для разработчиков абонентского оборудования WiMAX наиболее перспективными являются «системы на кристалле» от четырех производителей: Fujitsu, Intel, Sequans и Wavesat.

Компания Intel первой предложила разработчикам «систему на кристалле» PRO/Wireless 5116 для абонентских станций WiMAX, в которой были интегрированы функции как физического, так и MAC уровней. Чип MB87M3400 компании Fujitsu предназначен для более широкого диапазона приложений и позволяет разрабатывать как базовое, так и абонентское оборудование. Компания Sequans разработала отдельные чипы SQN1010 и SQN2010 — для базового и абонентского оборудования соответственно. «Системы на кристалле» от Fujitsu, Intel и Sequans полностью реализуют функции MAC-протокола для абонентских станций WiMAX.

Другой подход к разработке предложила компания Wavesat, выпустив две микросхемы: OFDM-модем DM256 (реализует функции физического уровня) и MC336 (представляет собой вычислительное ядро, реализующее нижний уровень MAC-протокола). Для разработки абонентского модема на базе «системы на кристалле» от Fujitsu, Intel и Sequans не требуется дополнительного внешнего процессора.

Микросхемы компаний Fujitsu и Sequans позволяют организовывать каналы шириной до 20 и 28 МГц соответственно, тогда как максимальная ширина канала для чипов Intel и Wavesat составляет 10 МГц с промежуточными значениями 3,5 и 7 МГц. В таблице 5.1 приведены основные параметры для разработки абонентского оборудования WiMAX.

Основные параметры абонентского оборудования WiMAX Таблица 5.1

Параметр	Fujitsu MB87	Intel	Sequans	Wavesat
Функции	PHY/MAC	PHY/MAC	PHY/MAC	PHY/MAC
Максимальная ширина канала	20 МГц	10 МГц	28 МГц	10 МГц
Режим дуплекса	H-FDD, TDD, FDD (2 чипа)	H-FDD, TDD	H-FDD, TDD, FDD	H-FDD, TDD, FDD
Системный интерфейс	Mill, 32-bit generic	MI	RMLL, PCI	PCI

## 5.2 Выбор оборудования базовых станций

Рассмотрим варианты разработки базовых станций WiMAX на основе известных чипов. Компания Fujitsu разработала чип MB87M3400 как для базовых, так и для абонентских станций. Однако, в отличие от решения Intel, чип Fujitsu имеет интерфейс для внешнего процессора. Для реализации полнодуплексного режима требуется использовать два чипа, один из которых выполняет функции физического уровня и нижнего уровня MAC-протокола, а второй представляет собой внешний процессор (сторонней фирмы) для реализации верхнего уровня MAC-протокола. Для разработки базовых станций компания Fujitsu предоставляет отладочный комплект, реализующий полнодуплексный режим работы, с процессором Freescale MPC8560, но не предоставляет программное обеспечение, обеспечивающее функции верхнего уровня MAC-протокола.

Компания PicoChip предлагает решение PC102/PC8520, построенное на двух своих параллельных процессорах PC102. Компания предоставляет программное обеспечение, реализующее физический уровень и функции нижнего уровня MAC-протокола на чипах PC102. Так же как и Fujitsu, компания PicoChip использует процессор Freescale MPC8565 для реализации верхнего уровня MAC-протокола в своем отладочном комплекте.

Однако в отличие от Fujitsu, PicoChip лицензировала свое программное обеспечение для верхнего уровня MAC-протокола. Так как в решение PC102/PC8520 не заложены функции шифрования-дешифрования, для их выполнения должен быть использован внешний процессор.

Чип для разработки базовых станций SQN2010 компании Sequans является первой «системой на кристалле», имеющей полнодуплексный режим. SQN2010 реализует все функции физического и MAC уровней, необходимые для полнодуплексной работы базовой станции. Чип SQN2010 отличается от SQN1010 наличием второго центрального процессора, реализующего верхний уровень MAC-протокола. На чипе SQN1010 предусмотрен интерфейс PCI для обеспечения возможности подключения внешнего процессора.

Решение DM256/MC336 компании Wavesat может быть использовано и для разработки базовых станций. Это решение поддерживает полнодуплексный режим работы, но следует отметить, что для реализации функций шифрования-дешифрования оно требует подключения внешнего процессора. Так же как и Fujitsu, Wavesat не предоставляет программное обеспечение для верхнего уровня MAC-протокола, необходимое для разработки базовых станций.

Из четырех описанных решений только чипы PicoChip PC102 не интегрируют в себе функций АЦП/ЦАП. Поэтому для разработок, в которых используется аналоговый радиointерфейс, дополнительно потребуются устройства АЦП/ЦАП. Все рассмотренные параметры для базовых станций приведены в таблице 5.2

Основные параметры базовых станций WiMAX таблица 5.2

Параметр	Fujitsu MB87	PicoChip PC102/PC8520	Sequans SQN2010	Wavesat DM256/MC336
Функции	PHY/MAC	PHY/MAC	PHY/MAC	PHY/MAC
Максимальная	20 МГц	10 МГц	28 МГц	10 МГц

ширина канала				
Количество чипов TDD FDD	1 чип 1 чип	2 чипа 2 чипа	1 чип 1 чип	1 чип 1 чип
Системный интерфейс	Mill, 32-bit generic	MI	RMLL, PCI	PCI
Радиоинтерфейс	Аналоговый и цифровой	цифровой	Аналоговый и цифровой	Аналоговый и цифровой

## 6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ СЕТИ

### 6.1 Воздействие радиочастотного поля на организм человека

Распространение широкополосного Интернета обеспечивает развитая сеть базовых станций с фиксированными антеннами, передающими информацию коммутационным центрам с помощью радиочастотных сигналов. С целью обеспечения повышения скорости мобильного интернета операторы увеличивают количество базовых станций и осуществляют их постоянное переоснащение в соответствии с самыми новыми технологическими разработками отрасли. Факт наличия значительного количества радиотехнических объектов время от времени вызывает беспокойство по поводу возможного влияния радиосигналов на здоровье пользователей.

В результате проведенных исследований Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) официально признала, что ни одна из проведенных в последнее время экспертиз не подтвердила, что радиочастотное поле, создаваемое мобильными телефонами или базовыми станциями, негативно влияет на здоровье человека.

Важно также указать, что установленные в России максимально допустимые уровни излучения значительно ниже допустимого уровня влияния радиочастотных сигналов радио- и телевизионных передатчиков, некоторых других бытовых приборов (например, микроволновых печей).

Месторасположение базовой станции определяется с учетом необходимости обеспечения покрытия и качества связи и обуславливается наличием помещений или открытых мест, отвечающих техническим требованиям для монтирования соответствующего оборудования. Базовые станции позволяет устанавливать на сооружениях общественного пользования и жилых домах, если суммарная мощность излучения не превышает предельно допустимых уровней, установленных санитарными нормами.



Микроволновый диапазон электромагнитного поля, в котором работает современная радиосвязь, находится в пределах 450 МГц—2 ГГц. Такие поля, в отличие от ионизирующего излучения (гамма-, рентгеновские лучи, коротковолновый ультрафиолет), независимо от их мощности, не могут вызывать ионизацию или вторичную радиоактивность в организме.

Из изложенного очевидно, что при равномерном расположении базовых станций в зоне покрытия широкополосным мобильным интернетом с соблюдением санитарных норм наибольшую опасность для здоровья абонента несет непосредственно его мобильный телефон и телефоны людей, его окружающих. Причем от работающего рядом мобильника можно получить значительно выше уровень облучения, чем от собственного телефона. Это связано с тем, что при разговоре антенна мобильника ориентирована таким образом, чтобы ее основной поток излучения направлялся в сторону от головы того, кто разговаривает. К сожалению, такое облучение мы очень часто можем получить в общественном транспорте. При установлении антенны базовой станции вокруг нее фиксируется санитарная зона, за границей которой суммарная мощность излучения не превышает предельно допустимых уровней, установленных санитарными нормами.

Место установления антенны базовой станции, которая не попадает в санитарную зону, является вполне безопасным. При этом, чтобы отвести санитарную зону от сооружения, на котором устанавливается антенная система (до трех антенн), последнюю закрепляют на башню, возвышающуюся на 10—20 м над уровнем крыши сооружения, или же на край стены сооружения (только одну отдельную антенну). А вот все места и сооружения, расположенные в направлениях, куда нацелены антенны, попадают под облучение микроволновой энергии, которая с увеличением расстояния от установленной антенны спадает. Следовательно, сооружение или здание, на котором устанавливается базовая станция, имеют самую низкую величину облучения.

Здания, где нет антенн базовых станций, но расположенные в зоне облучения антенн с соседних зданий, имеют наивысший уровень облучения. Причем, чтобы «пробить» стены зданий и тем самым обеспечить достаточный уровень мощности для работы мобильных телефонов, мощность облучения от базовой станции нужно увеличивать. Повышение мощности излучения антенны базовой станции требуется также и в случае, когда базовая станция расположена на значительном расстоянии от зоны, которую она должна обслуживать, чтобы компенсировать потери энергии на большое расстояние распространения. Следовательно, чтобы излучение антенн базовых станций было как можно ниже, они должны равномерно располагаться в зоне обслуживания. Если же зона обслуживается отдаленными базовыми станциями, то уровень радиочастотной энергии существенным образом повышается и может на отдельных направлениях наносить ущерб.