

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Айтакова Джамия Ерлановна

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

«Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX»

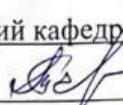
Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева  
Институт автоматике и информатики  
Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

 Таштай Е

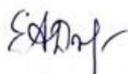
“ 25 “ 05 2022г

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Проектирование беспроводной сети на основе технологии  
WiMAX»

по специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и  
телекоммуникация

Выполнил (а)

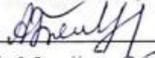


Айтакова Д.Е

Рецензент

Ассоц. проф. Казину

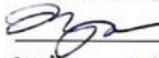
Уч. степень, звание

 ФИО

“ 23 “ 05 2022г.

Научный руководитель

Уч. степень, звание

 Жунусов К.Х

“ 23 “ 05 2022г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И.Сатпаева

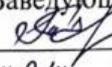
Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

 Таштай Е.Т.

« 21 » XI 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Айтакова Джамия Ерлановна

Тема: «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX»

Утверждена приказом Ректора Университета №489-П/Ө от «24» декабря  
2022 года.

Срок сдачи законченной работы «10» мая 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе:

- 1) Анализ беспроводной технологии WiMAX
- 2) Проектирование и реализация беспроводной сети WiMAX в г.  
Туркестан

Поставленные цели и задачи:

- глубокий анализ внедрения беспроводной сети на основании технологии WiMAX в условиях города Туркестан;
- разделение города Туркестан на составные обслуживаемые зоны;
- проектирование базовых станций по всей территории города;
- выбор нового оборудования технологии WiMAX и методы его внедрения;
- расчет параметров сети;
- расчет потерь мощности в канале распространения.

В процессе проектирования базовых и абонентских станций было выбрано оборудование от компании Sequans BC SQN2010 и AC SQ1N010. При оценке распространения радиосигнала сети WiMAX были учтены следующие факторы:

- рельеф города;

Список литературы:

1. SHahnovich I. SHirokopolosnaya mobil'nost': IEEE 802.16e. Часть 1. – ELEKTRONIKA: NTB, 2006, №3, s.17–25.
2. Берлин А.Н. Сотово-цифровые основы связи М.: Эко-Трендз, 2007.
3. Власов В.А. Частотное урегулирование также предоставление информативной безопасности с целью организации Wi-Fi и ВАЙМАКС. // "Вестник связи". 2005. №9

### ГРАФИК

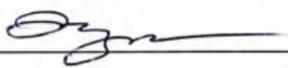
подготовки дипломной работы (проекта)

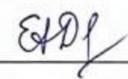
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретическая часть	11.01.2022-22.01.2022	Отчет – не менее 5-10 стр и 1-2 слайда
Основная часть	23.01.2022-15.03.2022.	Отчет не менее 5-10 стр , 1-2.
Расчетная часть	17.03.2022-29.04.2022.	Отчет не менее 10 стр . 3-5 слайдов 5
Заключение	03.04.2022-10.05.2022	Отчет не менее 1 стр , 10 слайд

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Досбаев М. М., м.т.н.	23.05.2022	

Научный руководитель  Жунусов К.Х.

Задание принял к исполнению обучающийся  Айтакова Д.Е

Дата «18» декабря 2021 г.

## АНДАТПА

Дипломдық жұмысы «WiMAX технологиясына негізделген сымсыз желіні жобалау» тезисі 46 беттен, 8 кестеден, 27 сурет пен иллюстрациядан, 22 пайдаланылған әдебиет көздерінен тұрады.

Зерттеу нысаны: Түркістан қаласындағы WiMAX технологиясы негізіндегі сымсыз желі.

Жұмыстың мақсаты: WiMAX технологиясын қолдана отырып, Түркістан қаласының WMAN бірыңғай сымсыз желісін жобалау. WiMAX сымсыз желісін жобалау процесінде келесі міндеттер қойылды:

- сымсыз желілерді құру үшін WiMAX технологиясын пайдалану перспективасын талдау;

- WiMAX желілерін жобалау технологиясын жетілдіру әдістері;

- Қазақстан аумағындағы WiMAX желілерін талдау;

- Түркістан қаласында WiMAX сымсыз желі технологиясын енгізу;

- жаңа буын WiMAX 2 желілерін талдау;

- бірыңғай WMAN желісін құру үшін WiMAX желілерінің архитектурасын талдау;

- сымсыз сигналды таратудың негізгі модульдері бар абоненттердің байланыс арнасының моделін жобалау;

- Түркістан қаласын байланыс модемдерін орнатудың құрамдас аймақтарына бөлу;

- WiMAX технологиясының жаңа жабдықтарын талдау және оны енгізу әдістері;

- желі параметрлерін толық есептеу;

- WiMAX технологиясын пайдалану кезіндегі шығындарды анықтау;

Салынып жатқан Түркістан қаласының аумағында WiMAX және WiMAX 2 технологияларын енгізу бүкіл қаланы жылдам интернетпен және сапалы телефон байланысымен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді және оның дамуына үлкен әсер етеді. WiMAX-тың бұл технологиясы Wi-Fi, LTE және 5G желілерінің жаңа дамыған технологияларынан кем түспейді, тіпті қоғамдық көліктің, білім беру мекемелерінің, әсіресе ежелгі Түркістан қаласының туристік орталықтарының алыс қашықтығын жабуға перспективалы болуы мүмкін.

Дипломдық жұмыстың соңында Түркістан қаласында WiMAX технологиясын енгізу үшін мүмкін болатын экономикалық шығындар көрсетіледі және оның өтелу мерзімі бар негізгі жабдықтың есебі ұсынылады.

## АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX» состоит из 46 страниц, 8 таблиц, 27 рисунков и иллюстраций, 22 использованных источников литературы.

Объект исследования: беспроводная сеть на основе технологии WiMAX в городе Туркестан.

Цель работы: проектирование единой беспроводной сети WMAN города Туркестан используя технологию WiMAX. В процессе проектирования беспроводной сети WiMAX были поставлены следующие задачи:

- анализ перспективности использования технологии WiMAX для создания беспроводных сетей;
- методы улучшения технологии проектирования сетей WiMAX;
- анализ сетей WiMAX на территории Казахстана;
- внедрение технологии беспроводной сети WiMAX в г. Туркестан;
- анализ сетей WiMAX 2 нового поколения;
- проанализировать архитектуру сетей WiMAX для создания единой WMAN сети;
- проектирование модели канала связи абонентов с главными модулями распространения беспроводного сигнала;
- разделение города Туркестан на составные зоны установки модемов связи;
- анализ нового оборудования технологии WiMAX и методы его внедрения;
- полный расчет параметров сети;
- определение потерь при использовании технологии WiMAX;

Внедрения технологии WiMAX и WiMAX 2 на территории строящегося города Туркестан даст возможность снабдить скоростным интернетом и качественной телефонной связи весь город и окажет большое влияние на его развитие. Данная технология WiMAX не уступает новым развитым технологиям Wi-Fi, LTE и сетям 5G, а даже может быть перспективной для покрытия больших расстояний общественного транспорта, образовательных учреждений, а особенно туристических центров древнего города Туркестан.

В конце дипломной работы будут указаны возможные экономические затраты для внедрения технологии WiMAX в городе Туркестан и будет представлен расчет основного оборудования со сроком его окупаемости.

## ANNOTATION

This thesis "Designing a wireless network based on WiMAX technology" consists of 46 pages, 8 tables, 27 figures and illustrations, 22 literature sources used.

Object of research: wireless network based on WiMAX technology in Turkestan.

The aim of the work: designing a unified wireless network WMAN of Turkestan using WiMAX technology. In the process of designing a WiMAX wireless network, the following tasks were set:

- analysis of the prospects of using WiMAX technology to create wireless networks;
- methods for improving WiMAX network design technology;
- analysis of WiMAX networks in Kazakhstan;
- introduction of WiMAX wireless network technology in Turkestan;
- analysis of new generation WiMAX 2 networks;
- analyze the architecture of WiMAX networks to create a single WMAN network;
- designing a model of the subscribers' communication channel with the main modules of wireless signal propagation;
- the division of the city of Turkestan into composite zones for the installation of communication modems;
- analysis of new WiMAX technology equipment and methods of its implementation;
- full calculation of network parameters;
- determination of losses when using WiMAX technology;

The introduction of WiMAX and WiMAX 2 technology in the territory of the city of Turkestan under construction will make it possible to provide the whole city with high-speed Internet and high-quality telephone communication and will have a great impact on its development. This WiMAX technology is not inferior to the newly developed Wi-Fi, LTE and 5G networks, and may even be promising for covering long distances of public transport, educational institutions, and especially tourist centers of the ancient city of Turkestan.

At the end of the thesis, the possible economic costs for the introduction of WiMAX technology in Turkestan will be indicated and the calculation of the main equipment with its payback period will be presented.

# СОДЕРЖАНИЕ

Приложения А

## ВВЕДЕНИЕ

Современный мир усложняется при плохом качестве интернета и становится невозможным при его отключении. Это потому что многие профессии, работа банков, транзакции, социальные сети, сотовые операторы связаны с поставщиками интернет услуг. А качественный интернет, в наше время, стал роскошью для жителей маленьких сел, аулов и населения с маленькими доходами. Но с данной ситуацией позволяют выйти современные технологии, предоставляющие скоростной интернет поколений 4G и 5G, относительно маленькими тарифами за услуги.

Улучшение качества интернета положительно отражается на обучении школьников, студентов и даже преподавателей, которые активно используют новые инновационные методы преподавания.

Скоростной интернет необходим для развивающихся и строящихся городов Казахстана. К этой категории относится развивающийся и увеличивающийся в территории город Туркестан. Данная дипломная работа направлена на проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX, которая охватит всю территорию города Туркестан. Вход на рынок поставщиков интернет услуг города Туркестан технологии WiMAX не несет больших затрат и имеет большое количество положительных сторон.

Так как проводной интернет несет в себе множество технико-экономических недостатков, перспективнее вести исследования в области создания беспроводной сети и покрытия ею всей территории города. Это возможно при использовании технологии WiMAX и WiMAX 2. Так как данная технология позволяет распространять интернет сигнал на большие расстояния. Если сравнивать традиционную беспроводную сеть Wi-Fi, которая распространяется на расстояние до 100 метров, то сеть на основе технологии WiMAX протокола 802.16d может покрыть территорию до 10 км, а сеть нового поколения WiMAX 2 протокола 802.16m может превышать предыдущую сеть в несколько десятков раз.

Особенностью сети WiMAX является обеспечение всех абонентов высоким качеством сети Quality of Service. А при использовании сети Wi-Fi данный показатель отличается, так как пакеты получают разные приоритеты. Преимуществом технологии WiMAX является простота компонентов, а именно данная сеть будет состоять из базовых и абонентских станций, а также оборудование, которое будет связывать базовые станции для синхронизации и соединять с поставщиком интернета.

# 1 АНАЛИЗ БЕСПРОВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ WiMAX

## 1.1 Основы технологии WiMAX нового поколения

Бурное развитие новых технологий привели к появлению беспроводных технологий, отличающихся особыми параметрами передачи сигнала и покрытия больших территорий. В XXI кабельные линии и оптоволоконные сети постепенно смещаются новыми беспроводными технологиями, которые являются основным инструментом для осуществления интернет связи и перспективным направлением в изучении[1].

Большого внимания заслуживает технология WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это технология, разработанная для создания беспроводной сети, распространяющая на большие расстояния и имеющая качественные характеристики сети, для различных категорий пользователей от мобильных телефонов до рабочих станций. Данная технология основана на стандарте IEEE 802.16, а название данной технологии также называют Wireless MAN. Название WiMAX была создана на организации WiMAX Forum, которая была создана в 2001 году для развития и увеличения внедрения технологий WiMAX. Данный форум при описании вышеупомянутой технологии описала ее как технология, предоставляющую высокоскоростной беспроводной доступ к сети. На рисунке 1.1 указана башня WiMAX (базовая станция), которая покрывает большое количество территории [2].

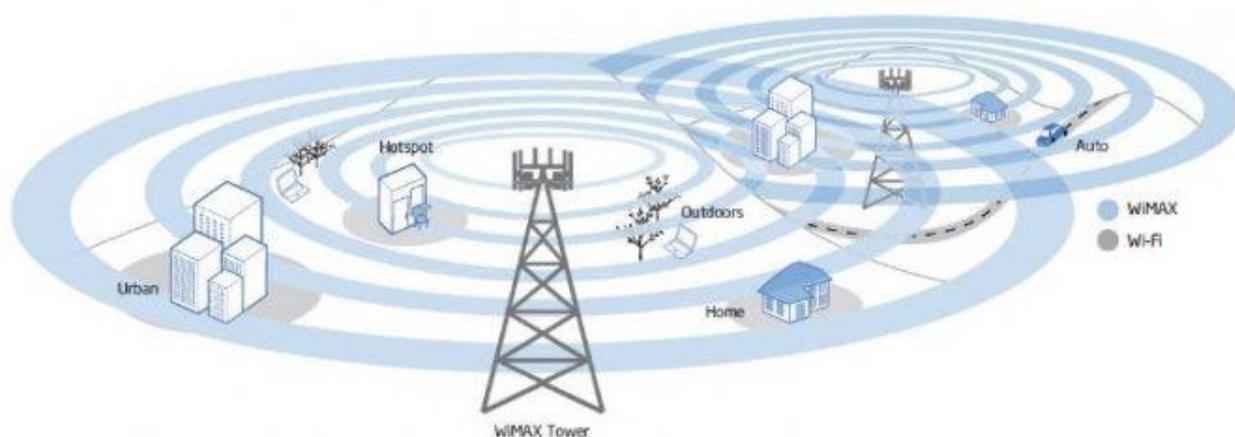


Рисунок 1.1 – Использование сети WiMAX для покрытия инфраструктуры города

На вышеуказанном рисунке серым цветом указана сеть Wi-Fi у которой радиус действия значительно отличается от радиуса действия сети WiMAX.

Сеть WiMAX – определенная система дальнего действия, использующая лицензирующие значения частот и базирующаяся на несколько видов стандарта

802.16. А сеть Wi-Fi является системой меньшего радиуса действия, которая использует нелицензированные значения частот.

Сети WiMAX и Wi-Fi имеют различный друг от друга сервис снабжения абонентов качеством интернет соединения. Quality of Service сети Wi-Fi отличается от сети WiMAX. В первом случае качество интернета сильно зависит колеблется, то есть подключенные точки имеют разную скорость интернета. А в случае сети WiMAX, качество QoS гарантируется для каждого соединения, то есть все пакеты одинаковые для всех точек и качество сети высокое [3].

С помощью технологии WiMAX можно осуществить следующее:

- Объединение множества точек Wi-Fi;
- Услуги высокоскоростного интернета и телекоммуникации;
- Создание системы мониторинга (SCADA) для энергетических станций и подстанций;
- Удешевить стандартные услуги за интернет;
- Запустить индивидуальные мобильные сети на основе Mobile WiMAX.

В основе стандарта 802.16 имеются 3 сети 802.16d:

- стандарт 802.16d;
- стандарт 802.16e;
- стандарт 802.16m.

Технические данные вариаций стандарта 802.16 указаны в таблице 1.1 Также здесь указаны характеристики сетей Wi-Fi, Bluetooth, WiMAX, ZigBee.

Таблица 1.1 - Сравнительная характеристика беспроводных сетей

Технология	Стандарт	Применение	Скорость, Мбит/с	Покрывтия, км (max)	Частота, ГГц
Сеть Wi-Fi	Протокол 802.11 поколения «b»	«WLAN»	11	0,3	2,4
Связь Bluetooth поколения 2	802.15.3	«WPAN»	2	0,1	2,4
Сеть ZIG BEE	802.15.4	«WPAN»	0,25	до 0,1	до 2,4
Технология WiMAX	802.16d	«WMAN»	75	80	до 11
WiMAX 2	802.16m	Mobile WMAN	100	150	11

Также необходимо сравнить характеристики мобильных сетей поколений 1 «G», 2 «G», 3 «G», 4 «G», 5 «G» и сети Mobile WMAN для определения преимуществ тех или иных показателей. Стандарт 1G, первыми прототипами

которых являлись NMT-450 и AMPS, использовались исключительно для передачи голоса [4].

Если проанализировать стандарты 2G второго поколения можно заметить улучшения сети относительно первого поколения. А именно это кодирование голоса человека и передача его по каналам связи. Существует 2 основных вида 2G сети:

- GSM (Global system for mobile communications);
- CDMA (Code Division Multiple Access).

2G сети кроме передачи голоса обеспечивали интернет связью, но скорость была низкой 9600 бит/с.

Целью создания сети третьего поколения 3G является умение передавать видеосигнал минимальным расширением 320x240. Скорость передачи данных составляло 384 Кбит/с, а полосы частот W-CDMA. Но при создании новых модуляционных схем и технологии мультиплексирования создался стандарт CDMA2000 1EV-DV, которая обеспечивает скоростью 2 Мбит/с. А технология HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) обеспечивает скоростью до 14,4 Мбит/с [5].

Сеть четвертого поколения 4G использует различное количество частот в зависимости от страны и их число насчитывается около 40. Перспективной частотой является 2,1 ГГц. Данная сеть 4G основывается на технологиях LTE и IEEE 802.16e. При использовании LTE скорость входящего потока равняется 50 Мбит/с, а нисходящего потока 100 Мбит/с. Однако при использовании стандарта IEEE 802.16e, технологии WiMAX, можно добиться результатов в 56 Мбит/с и 128 Мбит/с соответственно.

Версия LTE-Advanced дает возможность получить максимальную скорость восходящего потока 500 Мбит/с и 1 Гбит/с нисходящего потока, тем самым является технологией сети 4 G. А самое важное на основе данных технологий LTE и WiMAX с сетью 4 G можно осуществить хороший доступ в интернет, телефонию, простое и 3D телевидение, а также возможность выходить на видео конференции [6].

Перспективной сетью является сеть 5 G, которая разрабатывается и внедряется в определённых развитых странах как США, Япония и т.д. Данная сеть основана на стандарте IMT-2020. В наше время является самой перспективной, потому что она может обеспечить абонентов более высокой пропускной способностью по сравнению с любой предыдущей технологией.

Для сети 5 G существуют две полосы частот:

1. FR1 – от 600 до 6000 МГц;
2. FR2 – от 24 до 100 ГГц.

Скорость передачи данных по нисходящей линии равна 100 Мбит/с, а скорость по восходящей линии связи – 50 Мбит/с. Задержка пакета при прохождении через радиосвязь составляет 1-4 мс. Скорость сети 5 G для обслуживания и требований QoS составляет 500 км/ч, а возможное количество подключенных абонентов на единицу площади составляет  $10^6/\text{км}^2$ .

В таблице 1.2 указаны характеристики сетей пяти поколений от 1G до 5G и сравнительная характеристика относительно стандарта IEEE 802.16m, 802.16e WiMAX [7].

Таблица 1.2 - Характеристики сетей различного поколения

Поколение сети	Частота, МГц	Стандарт
1G	450	NMT-450
	До 900	AMPS
2G	900	GSM-900, GSM-E900, E GSM
	1800	GSM-1800
2.5G	1800	GPRS
3G	От 900	UMTS-900
	2100	UMTS-2100
4G	800	LTE800
	1800	LTE1800
	До 2600	LTE2600
5G	До 6 ГГц	FR1 (IMT-2020)
	До 100 ГГц	FR2 (IMT-2020)

На рисунке 1.2 указан график сетей PAN, LAN, MAN, WAN от скорости обмена данными.

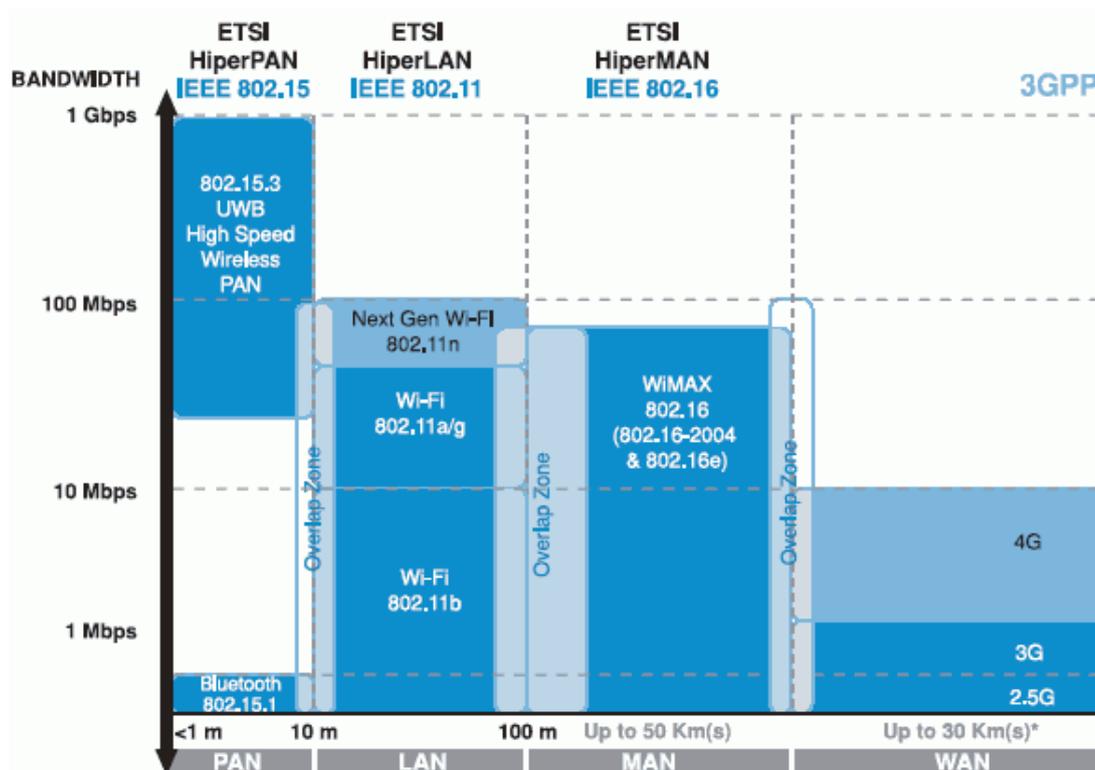


Рисунок 1.2 – Отличие характеристик сетей PAN, LAN, MAN, WAN  
В основе существуют следующие виды беспроводных сетей:

- Персональные сети (PAN);

- Локальные сети (LAN);
- Городские сети (MAN);
- Глобальные сети (WAN).

Персональные сети являются домашними беспроводными сетями для подключения домашней аппаратуры. Их радиус действия очень мал и составляет 10 метров.

Локальные сети больше персональных сетей. Они используются для офисных помещений или двух и более зданий, стоящих рядом. Радиус распространения локальных сетей доходит до 100 м.

Городские сети обслуживают города и покрывают до 50 км. А глобальные сети покрывают территории государств. В основном это сети интернет.

Для вышеперечисленных видов беспроводных сетей имеются свои определенные стандарты. Для сетей PAN используется UWB (Ultra Wide Band) технология. А распространенным стандартом данной технологии является IEEE 802.15, то есть стандарт Bluetooth.

Технология Wi-Fi используется для создания сетей LAN и базируется на технологии IEEE 802.11a (5ГГц), IEEE 802.11b (2,4 ГГц), IEEE 802.11g (2,4 ГГц) [8].

Для увеличения сети LAN до MAN стандарта 802.11s существует структура в виде ячеек Mesh-network. То есть сети LAN объединяются и соединяются друг с другом, создавая единую систему.

Существуют три организации, которые занимаются стандартизацией беспроводных технологий. Это:

- Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE);
- European Telecommunication Standards Institute (ETSI);
- 3rd Generation Partnership Plan (3GPP).

Стандарты IEEE и ETSI, в основном, применяются для коммутации пакетов, а стандарт 3GPP основывается на сотовых сетях мобильных терминалов и глобального роуминга.

## **1.2 Техничко-экономические показатели беспроводной сети WiMAX**

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это технология передачи пакетов данных, основанная на семействе IEEE.

Для внедрения и активного использования любых технологий в начале необходимо указать ее технико-экономические показатели [9].

В основном главное семейство стандарта 802.16 имеет две вариации. Первая IEEE 802.16, вторая IEEE 802.16 – 2004 и третья IEEE 802.16 – 2005.

Ниже будет приведены параметры стандартов IEEE 802.16 и IEEE 802.16 – 2004.

Таблица 1.3 - Параметры стандартов IEEE 802.16 и IEEE 802.16 – 2004

Параметры	IEEE 802.16	IEEE 802.16 – 2004
Частоты, ГГц	От 10 до 66	От 2 до 11 ГГц
Видимость	Прямая	Прямая и непрямая
Скорость передачи данных, Мбит/с	От 32 до 134	От 1 до 75
Ширина распространяющего канала, МГц	20,25,28	От 1,25 до 20
Покрытие, км	От 2 до 5	От 4 до 6

Для стандарта IEEE 802.16 – 2004 существуют 3 метода передачи данных:

1. Модуляция одной несущей (SC);
2. Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM);
3. Множественный доступ на основе OFDM (OFDMA).

Для первого стандарта 802.16 предусматривается использование прямого расширения с одной несущей Single Carrier (SC). А для стандарта 802.16 – 2004 предусмотрено применение как прямого расширения, так и применение OFDM с прямой и непрямой видимости с количеством под несущих:

- 1,26 МГц (128);
- 5 МГц (527);
- 11 МГц (1028);
- 25 МГц (2053).

При образовании сигнала OFDM основной цифровой поток делится на определенное количество подпотоков, и каждая поднесущая находит свой этот подпоток данных. А фазу и амплитуду можно рассчитать на основании модуляции, которая была выбрана целесоноправлено. Поднесущие можем модулировать 3 путями:

1. BPSK – бинарная фазовая манипуляция;
2. QPSK - квадратурная фазовая манипуляция;
3. QAM – квадратурная амплитудная манипуляция (порядка 16, 64).

На рисунке 1.3 указаны варианты расположения бит на фазовую плоскость, которые были описаны выше.

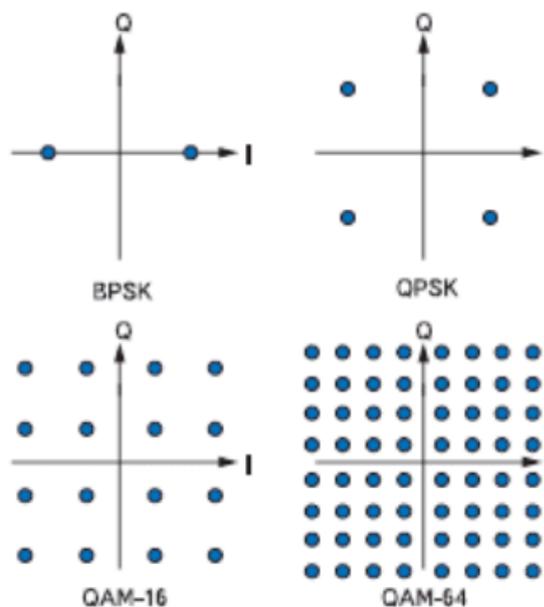


Рисунок 1.3 – Варианты отображения бит на фазовой плоскости

Если коснуться безопасности сети WiMAX, то данная сеть использует различные методы шифрования. К таким методам относятся алгоритм шифрования передаваемых данных и различные расширенные стандарты шифрования. Также сеть WiMAX использует различные протоколы безопасности, а именно протоколы управления секретными ключами (PKMP2), протокол расширенной аутентификации и шифрование. Все эти протоколы дают возможность для качественного обслуживания QoS для аудио пакетов и видео пакетов [10].

### 1.3 WiMAX архитектура

Одним из важных аспектов при использовании технологий беспроводной сети является гибкость, многофункциональность ее архитектуры. WiMAX FORUM разработал определенную архитектуру, которая обладает рядом преимуществ и определяет различные аспекты всех сетей на основе технологии WiMAX. А именно:

- обширное взаимодействие с другими сетями;
- правильное распределение сетевых адресов;
- аутентификация сетей.

Архитектура различных сетей WiMAX не имеет постоянной привязки с какой-либо конфигурацией. Она обладает гибкостью и может масштабироваться.

На рисунке 1.4 указана архитектура сетей WiMAX.

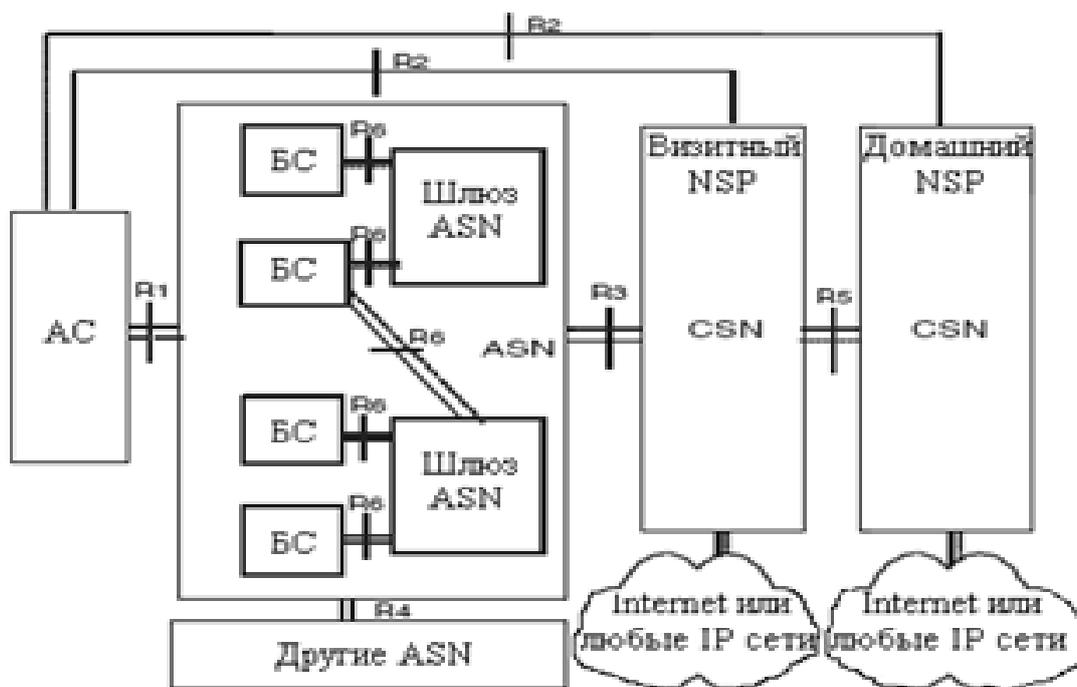


Рисунок 1.4 – Архитектура сетей WiMAX

Базовая модель сети (NRM) является основным представлением сетевой архитектуры. Она делит всю систему на 3 части:

1. Мобильные станции (МС);
2. Сеть доступа к услугам (ASN – access services network);
3. Операторская подсеть (CSN).

На вышеуказанном рисунке указаны следующие основные составляющие [11]:

- МС (мобильные станции) – необходим для доступа к сети для различных абонентов;
- ASN (access services network) – это собственность оператора, который выдает доступ к услугам сети;
- CSN (connectivity services network) – определенная подсеть оператора, которая дает возможность выйти на IP для успешного функционирования услуг для абонента. Основная функция подсети CSN обеспечение безопасности и коммутации.

Также существуют блоки, которые являются составными частями вышеперечисленных основных составляющих:

- Базовая станция (БС) – распространяющая основной сигнал;
- Шлюз ASN – инструмент управления ASN, которая управляет одной или несколькими базовыми станциями (БС).

Параметр «ASN» выполняет ряд определенных функций:

- поиск и выбор сети по предпочтению абонента;
- безопасное соединение с AC;
- обеспечение безопасности данных, безопасность сервера;
- обеспечение соединения IP между AC и CSN;

- регулировка нужным качеством QoS;

Самым важным элементом данной сети является шлюз ASN. При соединении абонента к сети в шлюзе для него открыта база данных, в которых находятся профиль данного абонента и его ключи шифрования. Туннельное соединение организуется между БС и шлюзом, а по направлению ядра CSN шлюз соединяет по стандарту протокола.

#### 1.4 История развития беспроводной связи WiMAX в Казахстане

Казахстан является страной, где активно внедряются беспроводные технологии [12]. К компаниям, внедряющим данные технологии, относятся:

- «Казахтелеком» – сеть Wi-Fi (Алматы);
- Компания Ducat – Mobile WiMAX 802.16e (Алматы);
- Компания «Б-телеком» - сеть 802.16d (Шымкент);
- ТОО «Алем комуникайшн холдинг» - сеть Mobile WiMAX 4 поколения (Алматы);
- «Samsung Ltd» - сеть Mobile WiMAX 4 поколения (Алматы);
- Компания «Алем коммуникайшн» - сеть WiMAX (Астана);
- Компания «АзияБелл» - сеть WiMAX (Центральный Казахстан);
- Компания «Обит» - сеть WiMAX 3,5ГГц (Алматы);
- Южнокорейская компания «Data», поставка оборудования технологии WiMAX для казахстанской ARNA (100 станций RAS – Radio Access Stations – Wave 2; маршрутизатор ACR – Access Control Routers; системы сетевого менеджмента NMS – Network Management System);
- Компания «Sum Телеком» - сеть WiMAX 5G (Атырау, Актау, Уральск);
- Компания «Asran Телеком» - IEEE 802.16 (Алматы);

Рынок технологий WiMAX в странах центральной Азии находится на пороге бурного развития. На рисунке 1.5 указана диаграмма развития технологии WiMAX.



Рисунок 1.5 – Рынок WiMAX в странах Центральной Азии

## 1.5 Внедрение технологии WiMAX в городе Туркестан

Город Туркестан находится в Туркестанской области на юге страны. Климат в данном регионе жаркий. Общая площадь города в данный момент составляет 19 627 га, а с перспективой на развитие территория Туркестана увеличится до 35 000 га из-за массовых строительных работ.

Проектируемая сеть WiMAX будет функционировать для площади 35 000 га. Так как в ближайшее время планируются застроенные площади отдать на проживание жителям города.

Этот город бурно развивается и расширяется во всех направлениях. Из-за такого быстрого развития необходимо обеспечить все население интернет и сотовой связью. Если проанализировать сети, которые функционируют на территории старого Туркестана, то можно заметить, что тут в приоритете функционирует сеть 4G. На рисунке 1.6 указана карта города Туркестан, покрытая сетью 4G [13].



Рисунок 1.6 - Карта покрытия сетью 4G старого Туркестана

Технология WiMAX даст возможность покрыть все новые застроенные территории и обеспечить высококачественным беспроводным интернетом (рисунок 1.7).

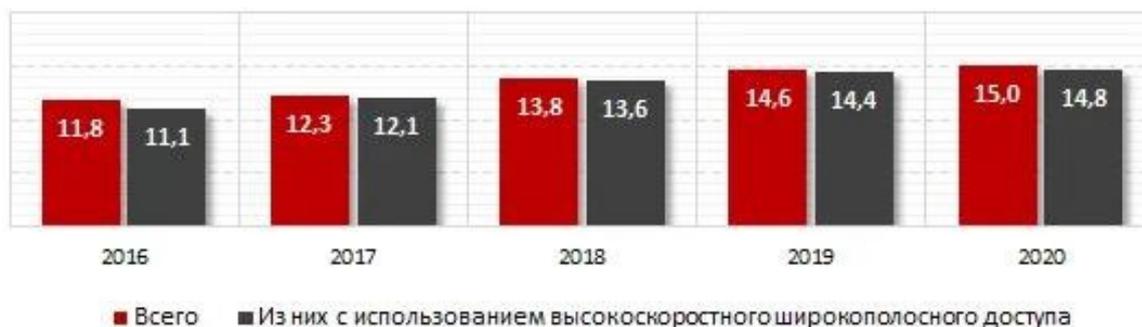


Рисунок 1.7 - Рост числа абонентов сотовой связи с выходом в интернет

В таблице 1.4 указана сравнительная характеристика числа абонентов с качественным доступом в интернет и анализ роста по сравнению с ранним периодом.

Рисунок 1.7.1 - Число абонентов по областям Казахстана с высокоскоростным широкополосным доступом

Число абонентов фиксированного интернета с использованием высокоскоростного широкополосного доступа. Июнь (тыс. ед.)						
	Всего		Рост к итогу		Доля от РК	
	2020/06	2019/06	2019/06		2020/06	2019/06
Казахстан	2 524,0	2 469,7	102,2%	54,3	100,0%	100,0%
Мангистауская	91,9	82,5	111,4%	9,4	3,6%	3,3%
Кызылординская	66,9	61,1	109,5%	5,8	2,7%	2,5%
Актюбинская	122,9	113,2	108,6%	9,7	4,9%	4,6%
Алматинская	168,2	158,5	106,1%	9,7	6,7%	6,4%
Акмолинская	117,4	111,3	105,5%	6,1	4,7%	4,5%
ЗКО	74,5	71,5	104,2%	3,0	3,0%	2,9%
Атырауская	94,9	92,0	103,2%	2,9	3,8%	3,7%
Костанайская	167,8	164,3	102,1%	3,5	6,6%	6,7%
г Шымкент	80,0	78,6	101,8%	1,4	3,2%	3,2%
Жамбылская	88,8	87,6	101,4%	1,2	3,5%	3,5%
Туркестанская	63,0	62,3	101,1%	0,7	2,5%	2,5%
Павлодарская	156,9	155,3	101,0%	1,6	6,2%	6,3%
Карагандинская	272,5	269,8	101,0%	2,7	10,8%	10,9%
г. Алматы	369,1	366,7	100,7%	2,4	14,6%	14,8%
СКО	111,5	111,5	100,0%	0,0	4,4%	4,5%
г. Нур-Султан	272,8	273,8	99,6%	-1,0	10,8%	11,1%
ВКО	204,9	209,7	97,7%	-4,8	8,1%	8,5%

*Расчёты Ranking.kz на основе данных НБ РК*

Вышеперечисленные данные в рисунке 1.7.1 были взяты с расчетов Ranking.kz на основе данных Национального Банка республики Казахстан. Показателем интересующий нас является показатель города Туркестан, который равен 63 тысяч единиц высокоскоростного широкополосного доступа. Этот показатель очень низок по сравнению с общим числом населения [14].

## 1.6 Формулировка основных задач проектирования и обоснование технологии WiMAX в условиях города Туркестан

Основной задачей данной работы является построение сети на основе технологии WiMAX стандартами 802.16e и 802.16d на всей территории города Туркестан, обеспечением широкополосным высокоскоростным доступом в

интернет.

Для реализации поставленных задач требуется:

- разработать схему покрытий всей территории города;
- разработать структуры сети;
- организация управлением беспроводной сетью;
- проделать расчеты зоны параметров разрабатываемой сети;
- расчеты потерь мощности;
- выбор основного оборудования базовой станции;
- выбор оборудования абонентской станции;
- проделать экономический расчет всей аппаратуры.

Для обеспечения качества интернет соединения и различных потоков данных существуют определенные методы разделения трафика:

- Unsolicited Grand Service (UGS) – поддержка потоков в реальном времени;
- Real Time Polling Service (RTPS) – поддержка потоков в реальном времени с переменной длиной пакетов;
- Non Real Time Polling Service (NTRPS) – поддержка потоков переменной длины пакетов;
- Best Effort (BE) – трафик без определенных гарантий.
- Скорость передачи данных базируется на следующих критериях:
- Committed Information Rate (CIR) – согласованная информационная скорость;
- Maximum Information Rate (MIR) – максимальная информационная скорость;
- Peak Information Rate (PIR) – мгновенная скорость передачи информации.

Проектируемая беспроводная сеть в городе Туркестан должна соответствовать вышеуказанным требованиям скорости передачи информации и определенной безопасностью сети.

## **2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ WIMAX В Г. ТУРКЕСТАН**

### **2.1 Предпроектный анализ структуры города Туркестан и специфика внедрения технологии WiMAX**

Для создания успешной беспроводной сети необходимо ознакомиться со структурой города, многоэтажными домами, магистральными линиями, дорогами деревьями и реками. Все вышеперечисленное может оказать значительное влияние при создании беспроводной сети, выборе места установки базовых станций и их монтаже [15].

Город Туркестан состоит из 8 районов. Это:

1. Карашыкский район;
2. Сауранский район;

3. Стамбульский район;
4. Ташкентский район;
5. Центральный район;
6. Ынтымакский район;
7. Отырарский район;
8. Астанинский район.

На рисунке 2.1 указаны вышеперечисленные районы, а также автовокзал, железнодорожный вокзал, аэропорт, дороги и жд пути, основные улицы.

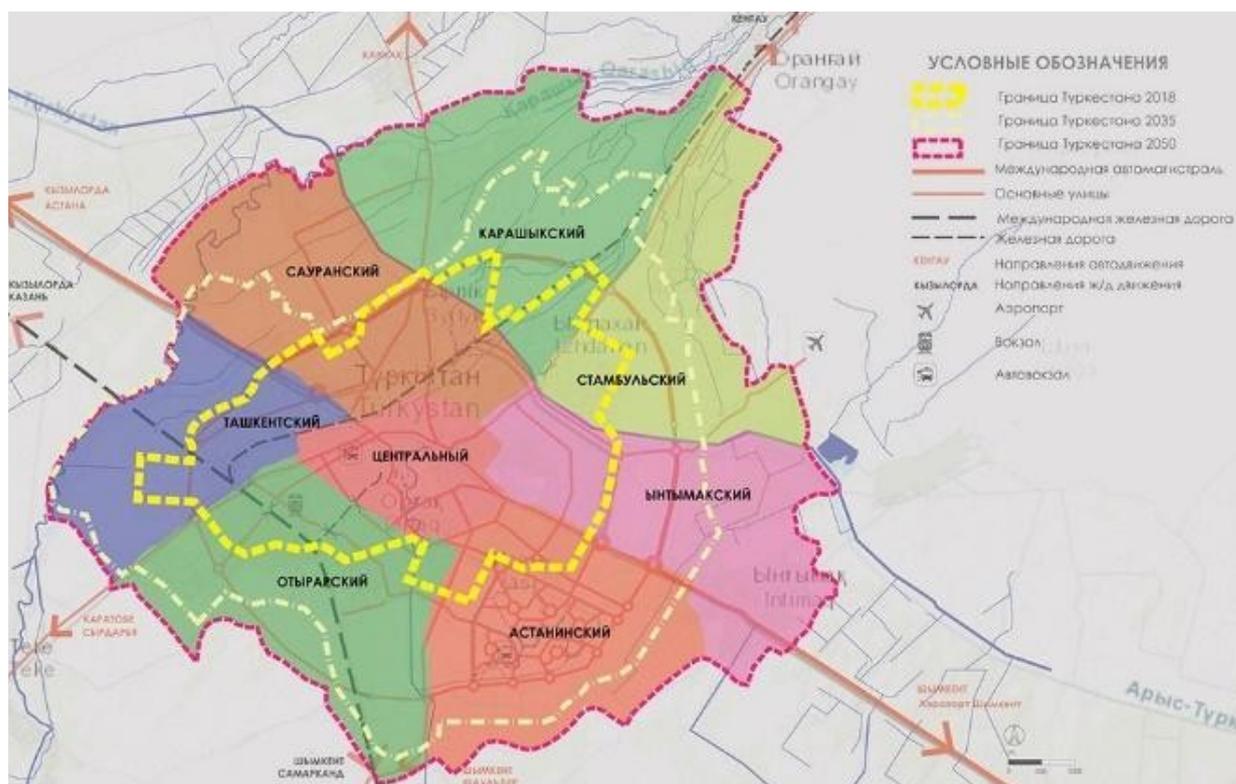


Рисунок 2.1 - Территориальное деление города Туркестан

Желтой пунктирной линией указана граница города в 2018 году, а белой и фиолетовой пунктирной линией указаны соответственно в 2035 и 2050 годах будущие границы Туркестана. Расчет зоны покрытия будет вестись на будущую площадь города Туркестана 250 км<sup>2</sup> к 2050 году.

На качество передачи речи также влияют многоэтажные здания, они являются определенной помехой для базовых и абонентских станций. На рисунке 2.2 указаны желтыми оттенками одноэтажные здания, коричневыми оттенками средне и многоэтажные застройки, фиолетовыми оттенками индустриальные зоны и оттенком голубого цвета высшие образовательные учреждения.

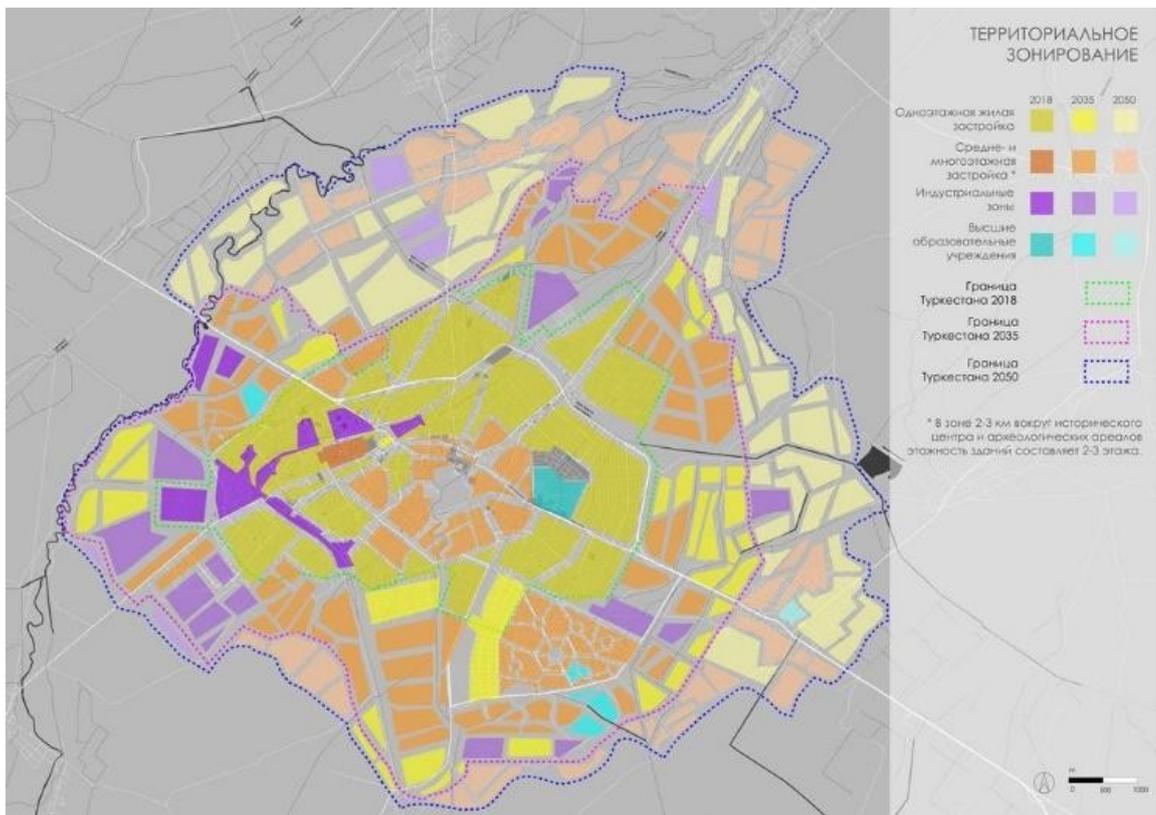


Рисунок 2.2 – Территориальное зонирование города по жилым кварталам

## 2.2 Методы построения структурной схемы и определение количества базовых и абонентских станций

Для расчета радиуса покрытия необходимо выбрать базовую станцию. Базовая станция состоит из антенны и необходимого оборудования для нее. На рисунке 2.3 указана структура базовой станции.

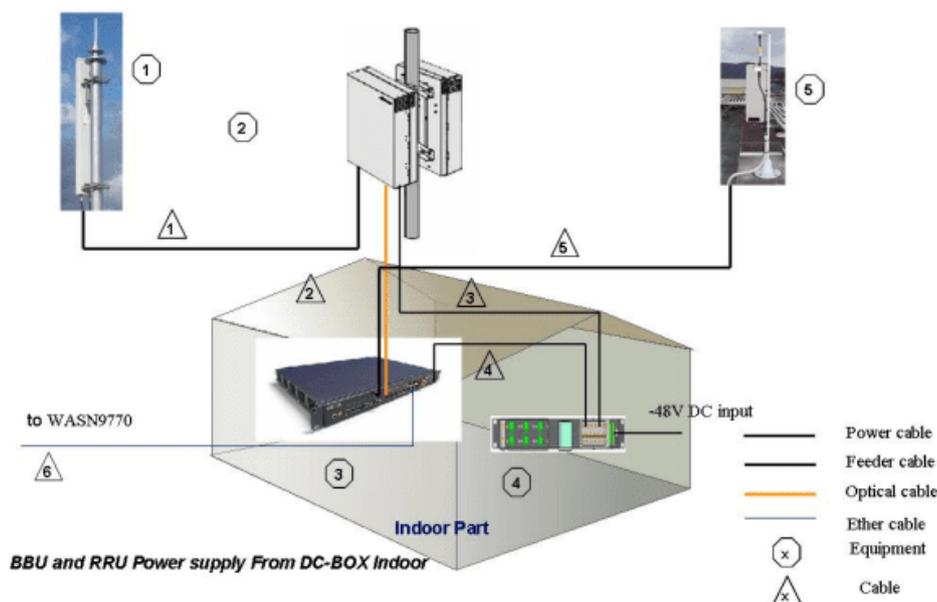


Рисунок 2.3 - Структура базовой станции: 1 – антенна; 2, 6 – кабель оптический, 3 – блок BBU; 4 – DC Вох преобразователь; 5 – GPS

Базовая станция состоит из нескольких модулей. Количество модулей определяет пропускную способность беспроводной сети, дальности передачи данных и используемого значения частоты. Каждый модуль обслуживает свою область покрытия и ограничивается возможностью используемой антенны. Модуль может охватывать 3 вариации секторов:

- 360 градусов (один сектор);
- 120 градусов (три сектора);
- 60 градусов (шесть секторов).

На рисунке 2.4 указан односекторная БС с 360 градусом распространения радиоволн.

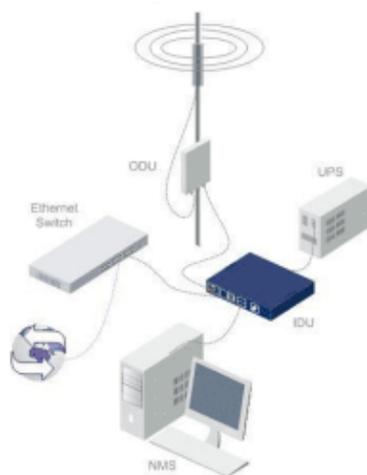


Рисунок 2.4 - Односекторная базовая станция WiMAX

На рисунке 2.5 указана шести секторной БС с 60 градусом распространения радиоволн.

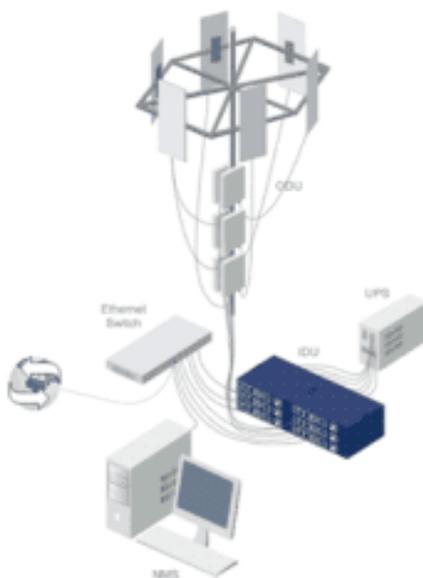


Рисунок 2.5 - Шестисекторная базовая станция

Функциональные блоки всех вариации секторных базовых станций имеют похожее оборудование. В состав базовых станций входят такие элементы, как:

- Беспроводные маршрутизаторы (обеспечивают скорость передачи данных до 54 Мбит/с;
- Антенно-фидерные устройства (сколько секторов, столько антенн);
- Лицензии подключения абонентских станций;
- Программы для управления базовой станцией;
- Модем Ethernet;
- Шкаф для монтажа оборудования;
- Блок постоянного питания.

Если коснуться термина абонентская станция, то данный термин обозначает вид станции для подключения абонентов к базовой станции. Абонентская станция (АС) создает каналы связи и доступа в интернет. В состав абонентских станций входят такие элементы, как:

- абонентский беспроводной маршрутизатор с интегрированной антенной;
- беспроводной маршрутизатор с разъёмом для подключения антенны;
- специализированная антенна.

На рисунке 2.6 указаны два варианта абонентской станции различающиеся от вида принимающей антенны.

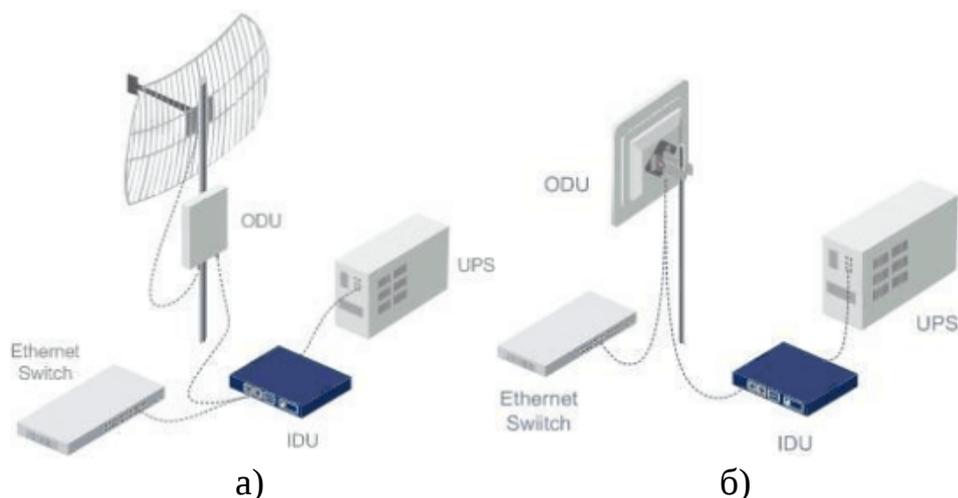


Рисунок 2.6 – Вариации типовых схем абонентских станций: а) сетчатая принимающая антенна; б) плоская принимающая антенна

### 2.3 Методы организации беспроводной сети WiMAX в г. Туркестан

Для установки базовых станций на территории города можно воспользоваться двумя методами установки:

- 1) установка БС на крыше высотных зданий;
- 2) установка специализированных столбов для БС.

Первый вариант применим в густо застроенных районах с высокэтажными зданиями, а второй вариант там, где малоэтажные здания. На рисунке 2.7 указан вариант установки базовой станции на специализированные столбы.

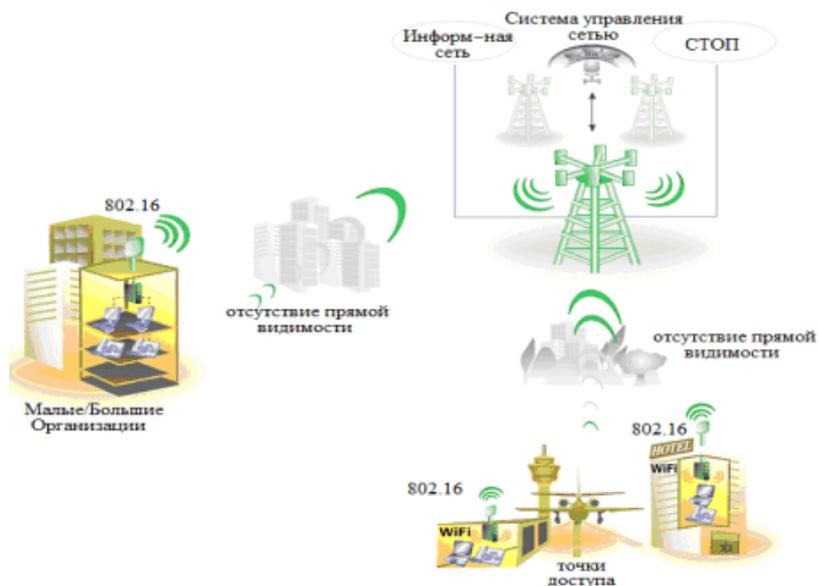


Рисунок 2.7 - Установка БС на специализированных столбах

На рисунке 2.8 указан вариант установки базовой станции и всех ее комплектующих на крыше высотного здания.

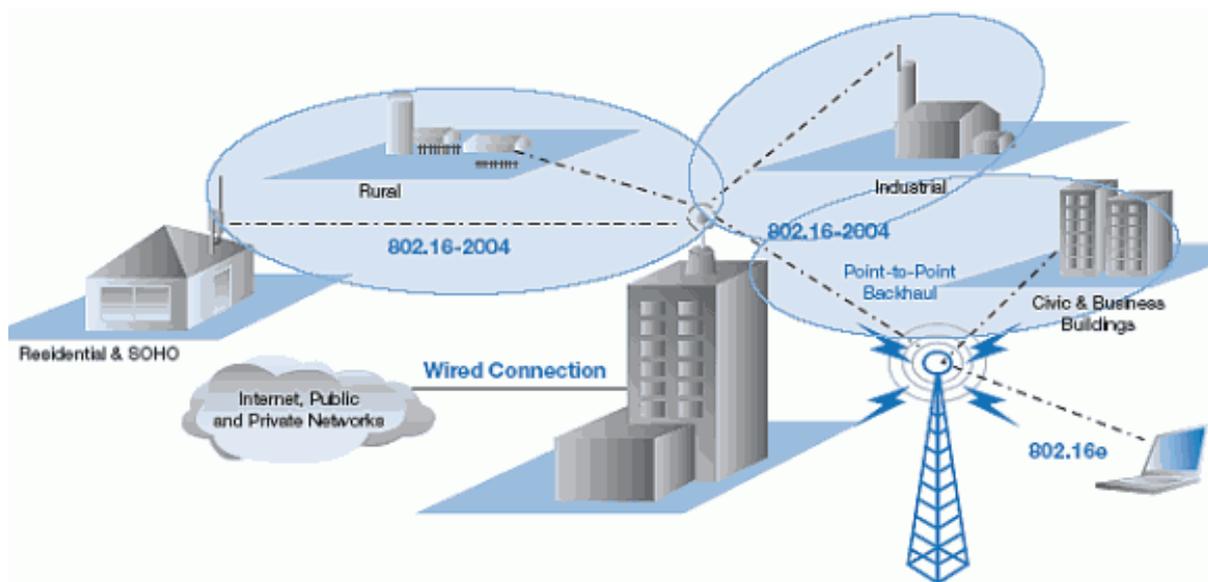


Рисунок 2.8 - Установка БС на крыше высотного здания

Также для установки БС необходимо ознакомиться с картами основных магистралей и дорог. На рисунке 2.9 указаны магистральные дороги красной линией, железнодорожные линии пунктирной линией, окружные дороги оранжевой линией и собирающие дороги зеленой и желтой линией.

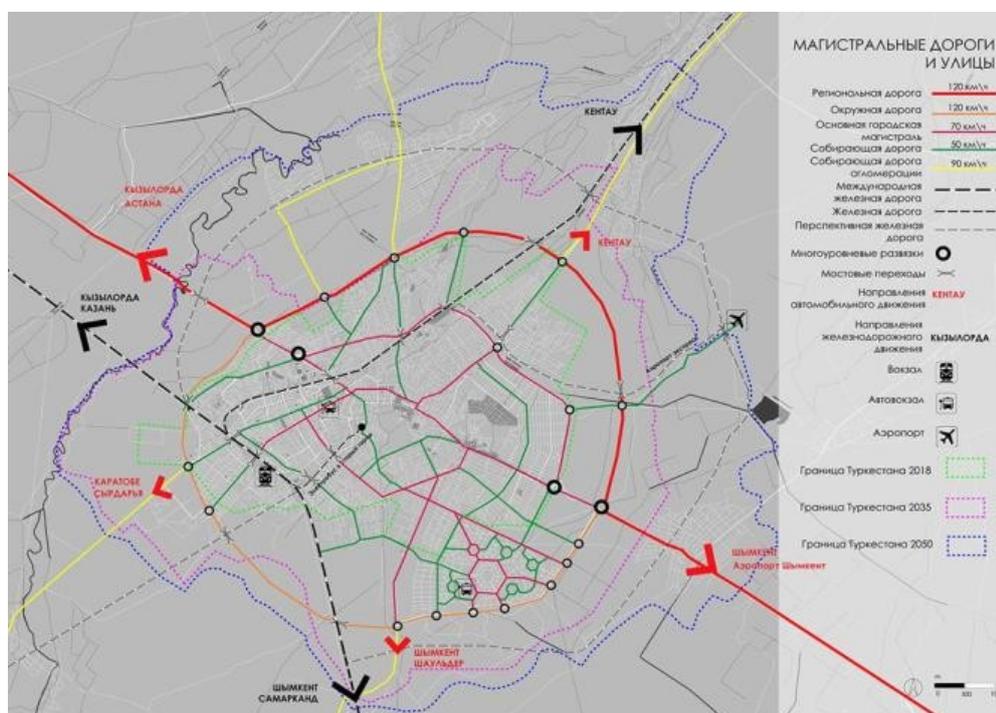


Рисунок 2.9 – Разветвление дорог и магистралей

## 2.4 Проектирование схем подключения абонентов сети

Для подключения абонентов к сети необходимо иметь структурную схему, где будут указаны антенны базовых станций и абонентские станции. При построении структурной схемы необходимо придерживаться основной архитектуры сети WiMAX, а именно три основных элемента:

1. Абонентская станция;
2. Совокупность сетей доступа, ASN;
3. Совокупность сетей подключения, CSN.

Эти пункты подробно были описаны в разделе архитектура сети WiMAX. ASN включает БС и шлюзы, а CSN содержит серверы AAA, DHCP, DNS. Одна базовая станция может подключаться к нескольким ASN шлюзам для обеспечения резервного доступа к сети (рисунок 2.10) [16].

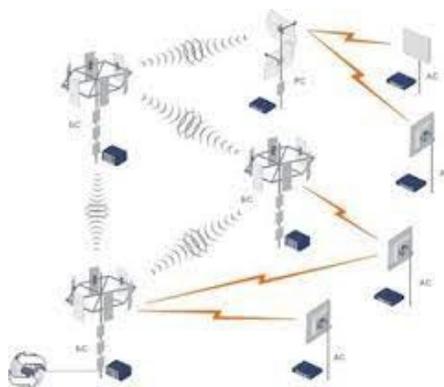


Рисунок 2.10 - Обеспечение резервного доступа между базовыми станциями

На вышеуказанном рисунке указаны БС и АС с резервным доступом. Это необходимо для обеспечения бесперебойного и качественного сигнала для АС. AAA сервер производит проверку подлинности абонента и возможности доступа к сети, распределяет ресурсы для пользования от вида приобретенных услуг, а также производит подсчет потребленных ресурсов.

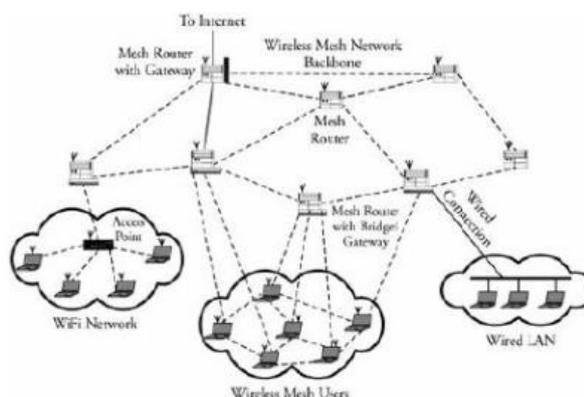


Рисунок 2.11 - Структурная схема подключения абонентов к системе БС

## 3 ТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

### 3.1 Определение расстояний покрытия базовой станции

В таблице 3.1 указаны основные параметры для проведения расчета базовой станции и определения радиуса действия станций на основе технологии WiMAX протокола 802.16.

Таблица 3.1 - Исходные данные стандартной БС

Напряженность поля передаваемого сигнала $E_c$ , дБ	20
Поправка учитывающая различие между номинальной мощностью станции от стандартной $V_{pn}$ , дБ	10
Параметр затухания $V_\phi$ , дБ	7
Затухание в фидере $\alpha * l$ , дБ	3
Коэффициент усиления антенны абонентов $Dsu$ , дБ.	15,5

Для выбора такой базовой станции необходимо определить нужные нам расстояния покрытия. На общей площади  $S = 250 \text{ км}^2$  необходимо установить такое количество базовых станций, которые легко могли обслуживать всех абонентов. Для начала необходимо определить радиус города по формуле 3.1 [17]:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (3.1)$$

где,  $R$  – радиус города Туркестан,  $S$  – площадь города,  $\pi$  – постоянная 3,14. Подставим числовые значения в формулу и получим:

$$R = \sqrt{\frac{250}{3,14}} = 8,9 \text{ км}$$

В среднем для расчетов возьмем значение 9 км для полного покрытия территории города.

Для определения радиуса действия базовой станции необходимо определить мощность и напряженность поля базовой станции по формуле 3.2:

$$E = E_c + V_{pn} + V_\phi + V_{h2} + V_{rel} + (\alpha * l) - Dsu + B\theta \quad (3.2)$$

где,  $E$  – напряженность вокруг базовой станции,  $E_c$  – напряженность поля передаваемого сигнала,  $V_{pn}$  – поправка учитывающая различие между

номинальной мощностью станции от стандартной,  $V_{\phi}$  – параметр затухания, дБ,  $V_{h2}$  – параметр, учитывающий высоту антенны,  $V_{\text{рел}}$  – параметр, учитывающий рельеф земли,  $\alpha * l$  – затухание в фидере,  $D_{su}$  – коэффициент усиления антенны абонентов, дБ,  $V_{\delta}$  – параметр, учитывающий восприимчивость к помехам, дБ [18].

Сначала нужно определить параметр  $V_{h2}$  по формуле 3.3:

$$V_{h2} = 10 * Lg\left(\frac{1.5}{h_2}\right) \quad (3.3)$$

где,  $h_2$  – высота передающей антенны. В городе Туркестан наивысшей точкой, где можно установить базовую станцию в пределах 30 метров.

$$V_{h2} = 10 * Lg\left(\frac{1.5}{30}\right) = -13,01 \text{ дБ}$$

Параметр, отвечающий за рельеф местности  $V_{\text{рел}}$  определяется по графику указанном на рисунке 3.1.

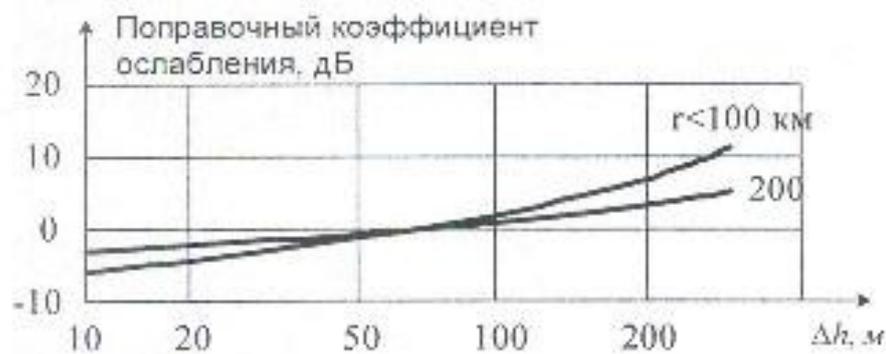


Рисунок 3.1 - График зависимости поправки  $V_{\text{рел}}$  от средней высоты зданий  $\Delta h$

На территории Туркестана средняя высота зданий составит примерно 25-30 метров. Значит значение  $V_{\text{рел}}$  будет равно -4 дБ.

Для расчета параметра, учитывающего восприимчивость к помехам,  $V_{\delta}$  необходимо воспользоваться формулой 3.4:

$$V_{\delta} = 10 * Lg\left(\frac{\theta e}{360}\right) \quad (3.4)$$

где,  $\theta e$  - угол направленности принимающей антенны,  $\theta e = 9^\circ$ .

$$V_{\delta} = 10 * Lg\left(\frac{9}{360}\right) = -16,02 \text{ дБ}$$

Определим напряженность поля, создаваемое передающей базовой станцией в пункте приема базовой станции, дБ, подставив числовые значения вышеопределенных параметров:

$$E = E_c + V_{pn} + V_{\phi} + V_{n2} + V_{rel} + (\alpha * l) - D_{su} + B_{\partial} = 620 + 10 + 7 + 13,01 + 4 + 3 - 15,5 + 16,2 = 57,71 \text{ дБ}$$

После определения E, необходимо определить радиус действия базовой станции. На рисунке 3.2 показаны кривые распространения радиоволн над поверхностью земли

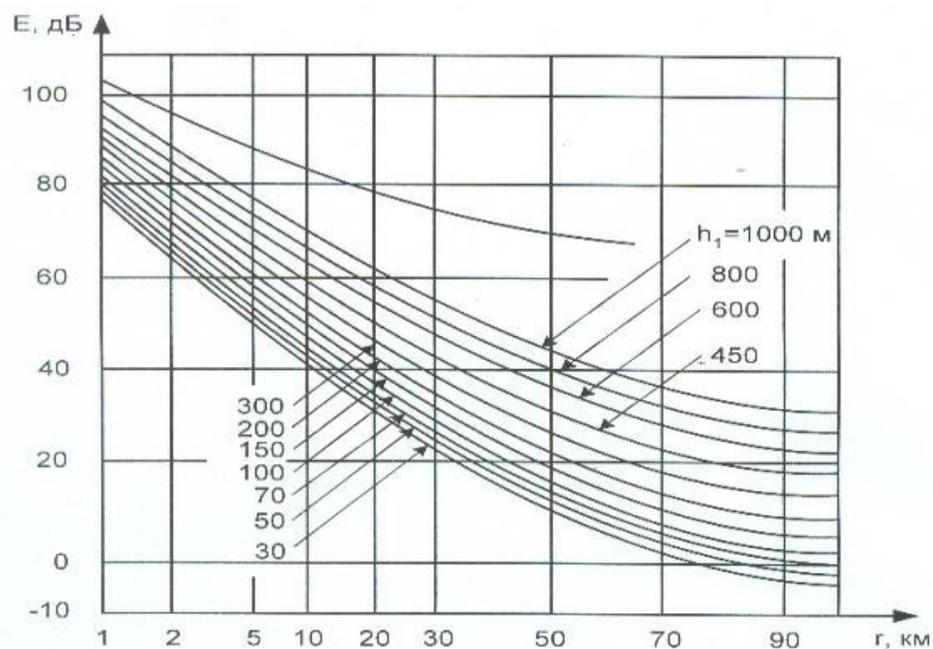


Рисунок 3.2 - Графики зависимости радиуса действия  $r$  от напряженности поля  $E$

По графику видно, что радиус действия базовой станции при  $E = 57,71$  дБ равен 2800 м. Зона покрытия одной БС равен 2800 м, площадь  $24,6 \text{ км}^2$

### 3.2 Размещение базовых станций на карте города Туркестан

Для покрытия площади в  $250 \text{ км}^2$  необходимо использовать вышеуказанные данные с расчетов, а именно установка базовых станций с зоной покрытия в 2,8 км, площадью  $24,6 \text{ км}^2$ . Для всего города Туркестан

понадобится 11 базовых станций [19]. Для правильного расчета необходимо выполнение следующего условия:

$$n * S_{\text{пок.БС}} \geq S_{\text{г.}}$$

Где  $S_{\text{пок.БС}} = 24,6 \text{ км}^2$  - площадь покрытия базовой станции,  $n = 11$  – количество базовых станций,  $S_{\text{г.}} = 250 \text{ км}^2$  – площадь города.

Для определения всей площади покрытия базовых станция необходимо воспользоваться формулой 3.5:

$$S_{\text{об}} = n * S_i \tag{3.5}$$

Где  $S_{\text{об}}$  – зона покрытия всех БС,  $n$  – количество БС,  $S_i$  – зона покрытия одной БС. Подставим числовые данные в формулу и получим:

$$S_{\text{об}} = 11 * 24,6 = 270,6 \text{ км}^2$$

Подставим полученное значение в вышеуказанное условие и проверим на корректность выбора количества БС:

$$270,6 \text{ км}^2 \geq 250 \text{ км}^2$$

После выполнения условия необходимо расположить эти 11 базовых станций на всей территории города Туркестан (рисунок 3.3).

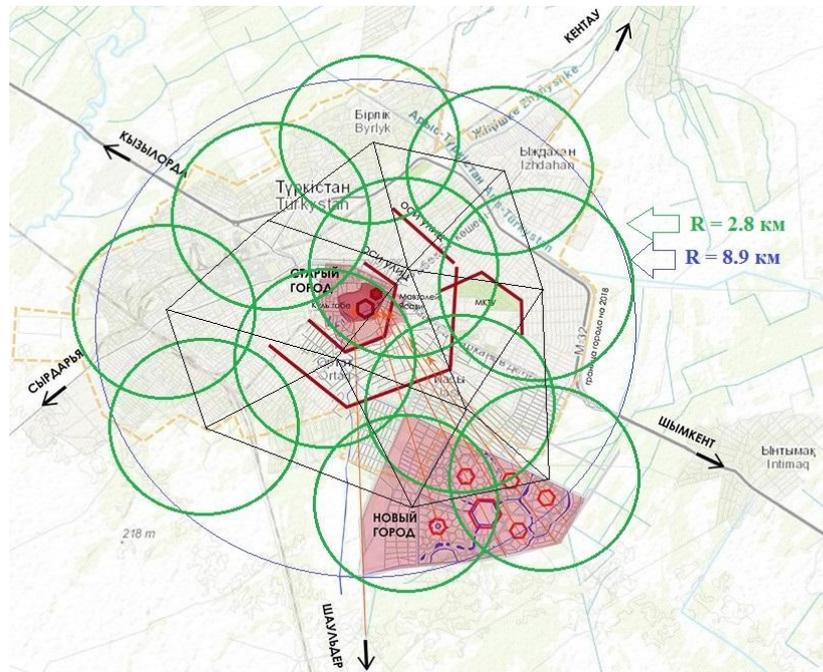


Рисунок 3.3 – Схема размещения БС на территории города  
**3.3 Расчет потерь мощности сигнала на всей трассе распространения**

Для определения потерь мощности сигнала на трассе распространения необходимо учитывать факторы электродинамики, а именно физику распространения радиоволн, учитывать тонкости теории поля, учитывать плотность застроек и ландшафта города.

Расчет потерь мощности можно произвести методом Оккумура. Суть метода заключается в использовании параметров высоты базовой и абонентской антенн, расстояния распространения волны и определенных поправочных коэффициентов. По формуле 3.6 определяется потеря мощности на трассе в городской зоне [20]:

$$L = 69.55 + 26.161 L_{gf} - 13.82 L_{ghb} - a * h_m + (44.9 + 6.551 L_{ghb}) * L_{gd} \quad (3.6)$$

Где  $L$  – потери мощности на трассе распространения волны, дБ;  $f$  – частота волны, 2200 МГц;  $h_b$  – высота антенны базовой станции, 25 м;  $a * h_m$  – коэффициент поправки;  $d$  – расстояние от абонентской базы до базовой станции, 2800 м.

Подставив параметр высоты расположения базовой антенны в формулу 3.7 определим коэффициент поправки  $a * h_m$ . Антенна будет располагаться на крыше 10 этажного здания, высота которого равна 25 метров.

$$a * h_m = 3,2 (Lg(11,75 * h_m))^2 - 4.97 \quad (3.7)$$

$$a * h_m = 3,2 (Lg(11,75 * 25))^2 - 4.97 = 14.52 \text{ дБ}$$

Подставим полученные значения в формулу 6 получим:

$$L = 69.55 + 26.161 Lg 2400 - 13.82 Lg 25 - 14,52 + (44.9 + 6.551 Lg 25) * Lg 2800 = 127,13 \text{ дБ}$$

### 3.4 Расчет пропускной способности всех абонентских модулей

Для определения объема передаваемых данных абонентом необходимо принять среднестатистические показатели одного абонента за весь период использования услуг. К этому среднестатистическому показателю входят использование электронной почты для передачи документов (98%-100% пользователей), скачивание определенных программы с серверов (45%-50% пользователей), работа с базами данных (60%-70% пользователей), а также использование сети для проведения аудио и видео конференции (10%-20% пользователей). Эти вышеперечисленные услуги будут браться на базе средних показателей [21].

Для определения всего объёма передаваемых данных абонентами необходимо воспользоваться формулой 3.8:

$$Q = \sum_i Q_i * i \quad (3.8)$$

Где  $Q_1$  – общий объём передаваемых данных всеми абонентами, байт;  $Q_i$  – объём передаваемых данных  $i$ -ым пользователем, байт;  $N_i$  – число пользователей в одной сети.

Для определения объёма передаваемых данных одним пользователем  $Q_i$  необходимо воспользоваться формулой 3.9:

$$Q_i = \frac{q}{8} * t * 3600 \quad (3.9)$$

Где  $q$  – скорость передачи данных, байт/с;  $t$  – время передаваемых данных, ч. Скорость передачи данных  $q$  для качественного аудио и видео принято считать 192 Кбайт/с (минимальная скорость), а время передачи с данной скоростью составляет в среднем 4,5 часа (3600 секунд). Подставим численные значения в вышеприведенную формулу:

$$Q_i = \frac{192000}{8} * 4,5 * 3600 = 388,8 * 10^6 \text{ байт}$$

Для определения всего объёма передаваемых данных необходимо рассчитать для  $N = 10$  количества пользователей в стандарте:

$$Q_1 = (0,95 * (388,8 * 10^6) + 0,45 * (388,8 * 10^6) + 0,6 * (388,8 * 10^6) + 0,1 * (388,8 * 10^6)) * 10 = 8,1648 * 10^9 \text{ байт}$$

После нахождения всего объёма передаваемого абонентами в количестве в 1000 единиц, необходимо определить количество передаваемой информации серверами (формула 3.10):

$$Q_2 = K_c * N * K \quad (3.10)$$

Где  $Q_2$  – объём передаваемой информации всеми серверами, байт;  $K_c$  – передачи объёма информации одним сервером, 1 Гбайт = 1073741824 байт;  $N$  – число серверов в параллельной работе (в стандарте 3);  $K$  – доля передаваемой информации за один рабочий день (принято считать 75%).

$$Q_2 = 1073741824 * 3 * 0,75 = 2415919104 \text{ байт} = 2,4 \text{ Гбайт}$$

Сложив параметры передачи пользовательской информации и информации передаваемыми серверами, получим (формула 3.11):

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (3.11)$$

$$Q = 8,16 * 10^9 + 2,4 * 10^9 = 10,56 * 10^9 = 10,56 \text{ Гбайт}$$

Далее необходимо определить число кадров полезной информации. В основе СПД использует кадры длиной в 74 байта, а 68 байт из которых являются информационными и 6 байт адресными. Необходимое число кадров определяется по формуле 3.12:

$$N_k = \left[ \frac{Q}{68} \right] + 1 \quad (3.12)$$

Где  $N_k$  – число кадров,  $Q$  – объем всей передаваемой информации (определена выше), 68 – длина полезной части одного кадра. Подставив численные значения получим:

$$N_k = \left[ \frac{10,56 * 10^9}{68} \right] + 1 = 155 * 10^6$$

Скорость поступления кадров  $V$  можно определить, воспользовавшись формулой 3.13:

$$V = \frac{N_k}{T * 3600} \quad (3.13)$$

Где  $V$  - скорость поступления кадров, 1/с;  $T$  – время рабочего дня, (24 ч = 24 \* 3600 = 86400 с). Подставим численные данные и получим:

$$V = \frac{155 * 10^6}{86400} = 1794 \text{ 1/с}$$

### 3.5 Расчет общей задержки

Одним из важных параметров при построении сети является определение задержки пакетов информации. Для получения числа кадров, ожидающих обслуживания, определяется формулой 3.14:

$$L_q = P * L \quad (3.14)$$

Где  $L_q$  – число кадров, ожидающих обслуживания;  $P$  – степень использования канала связи, 47%;  $L$  – число кадров, одновременно находящихся в системе [22].

Для определения параметра  $L$  необходимо воспользоваться формулой 3.15:

$$L = V / (V_{об} - V) \quad (3.15)$$

Где  $V$  – средняя скорость поступления кадров, (420 кадров в секунду)  $V_{об}$  – средняя скорость обслуживания (886 кадров в секунду).

$$L = \frac{420}{886 - 420} = 0,9$$

Полученное значение  $L$  и известные данные подставим в формулу 3.14

$$Lq = 0,47 * 0,9 = 0,42$$

Среднее время нахождения одного кадра в системе  $W$  определяется обратной величиной разности скорости обслуживания и скорости поступления кадров (3.16):

$$W = 1 / (V_{об} - V) \quad (3.16)$$

$$W = 1 / (886 - 420) = 2,2 * 10^{-3} = 2,2 \text{ мс}$$

Время ожидания в очереди  $Wq$  определяется произведением среднего времени нахождения одного кадра в системе на степень использования канала (формула 3.17):

$$Wq = W * P \quad (3.17)$$

$$Wq = 2,2 * 10^{-3} * 0,47 = 1,034 * 10^{-3}$$

Для получения времени обработки одного кадра на магистральном канале необходимо отнять Среднее время нахождения одного кадра в системе  $W$  от Время ожидания в очереди  $Wq$  (формула 3.18):

$$t_{об} = W - Wq \quad (3.18)$$

$$t_{об} = 2,2 * 10^{-3} - 1,034 * 10^{-3} = 1,166 * 10^{-3} \text{ с}$$

#### **4 ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА**

#### 4.1 Выбор оборудования абонентских и базовых станций

Для выбора оборудования базовых и абонентских станций необходимо обратить внимание на нижеперечисленные параметры:

1. Экономичное потребление электрической энергии;
2. Непрерывная работа станций без задержек;
3. Ценовая характеристика;
4. 100% покрытия предложенной площади;
5. Высокий срок эксплуатации.

Основными поставщиками оборудования для базовых станций WiMAX являются фирмы:

- Fujitsu;
- PicoChip;
- Sequans;
- Wavesat.

Основными поставщиками оборудования для абонентских станций WiMAX являются фирмы:

- Fujitsu;
- Intel;
- Sequans;
- Wavesat.

Необходимо выбрать один тип БС и 4 предложенных (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Параметры базовых станций от различных фирм

Параметр	«Fujitsu» марка MB87	«PicoChip» марка PC/PC85	«Sequans» марка SQN	Wavesat DM25M
Функции	MAC/ PHU	MAC/PHU	MAC/PHU	MAC/PHU
Ширина канала, МГц	15	9	25	9

Также для абонентских станций необходимо выбрать аппаратуру. В таблице 4.2 указаны 4 вариации АС.

Таблица 4.2 - Параметры абонентских станций от различных фирм

Параметр	«Fujitsu» марка MB87	«Intel» марка Pro1	«Sequans» марка SQN	Wavesat DM25M
----------	-------------------------	-----------------------	------------------------	------------------

Функции	MAC/PHY	MAC/PHY	MAC/PHY	MAC/PHY
Ширина канала, МГц	15	9	25	9
Режим дуплекса	TDD	TDD	TDD	TDD
Интерфейс системы	generic	ML	PCI	PCI

Целесообразно выбрать антенны с большей частотой распространения волн. Из двух вышеуказанных таблиц выбор пал на оборудование от компании Sequans БС SQN2010 и АС SQN1010.

На рисунке 4.1 указан вид антенны для БС от компании Sequans. Она 6 секторная и каждый сектор охватывает по 60 градусов распространения, тем самым распространяет сигнал на 360 градусов.



Рисунок 4.1 - Базовая станция Sequans SQN2010  
Технические характеристики БС Sequans SQN2010 указаны в таблице 4.3

Таблица 4.3 - Технические данные БС Sequans SQN2010

Характеристики	Значение
Процессор	XScale IX425

Поддержка Радиокарта	profM3_RMP,	3,5 ГГц
Ширина каналов		3,5 МГц и 7 МГц
Дуплекс		TDD и HFDD
Пропускная способность платы		37,5 Мб\с
Размер платы		80*60 мм
Операционная система		Linux

## 4.2 Воздействие радиочастотных волн на живые организмы

При установке антенн базовых станций необходимо обратить внимание на влияние радиочастотного излучения на живые организмы. Непосредственно вблизи антенн нельзя находиться долгое время, так как идет влияние радиоволн и электромагнитного излучения в большом количестве.

В целом исследования показали, что влияние радиочастотных волн на организм маленькое и технология WiMAX, а именно его протоколы IEEE 802.16 являются безопасными.

В основном необходимо защитить само оборудование от воздействия окружающей среды. К такому воздействию относится влияние:

- Электромагнитного поля;
- Прямое попадание солнечной энергии, повышение температуры;
- Атмосферное перенапряжения;
- Запыленность;
- Воздействие электрического и магнитного поля;
- Попадание влаги.

Для оборудования необходимо поддерживать определенную температуру и влажность. Это можно добиться путем установки оборудования в специализированные шкафы, отвечающие всем требованиям. Или установка оборудования в помещениях, кроме антенн. Антенны необходимо устанавливать в открытом пространстве. Они обладают своей первоначальной защитой от всех видов воздействия.

При подключении оборудования к сети необходимо придерживаться всех правил установки электрических установок. А именно:

- Избегать прямого касания токоведущих частей;
- Производить искусственное заземления оборудования при монтаже или ремонте;
- Иметь средства индивидуальной защиты;
- Огородить доступ к антеннам и необходимому оборудованию.
- Правильная установка питающих кабелей, избегать касания на токопроводящие части здания;

Для осуществления полного монтажа всего оборудования необходимо проделать нижеперечисленные работы:

- Монтаж всех 11 базовых станций на территории города Туркестан;
- Монтаж необходимых мультиплексов;
- Монтаж всего абонентского оборудования, всей АС;
- Прокладка оптического кабеля до базовых станций, для подачи интернет сигнала.

### 4.3 Защита от молний и защитное заземление основных вышек БС

Самым важной частью для оборудований WiMAX является осуществления качественного заземления и защиты от атмосферного перенапряжения.

Для осуществления защиты от молний используются молниеотводы. Молниеотводы бывают 3 видов:

- Штыревой;
- Тросовый;
- Сетчатый.

Для антенн WiMAX целесообразно использовать штыревые молниеотводы, так как устройство сконцентрировано в определенном месте.

На рисунке 4.2 указаны два варианта исполнения токоотвода.

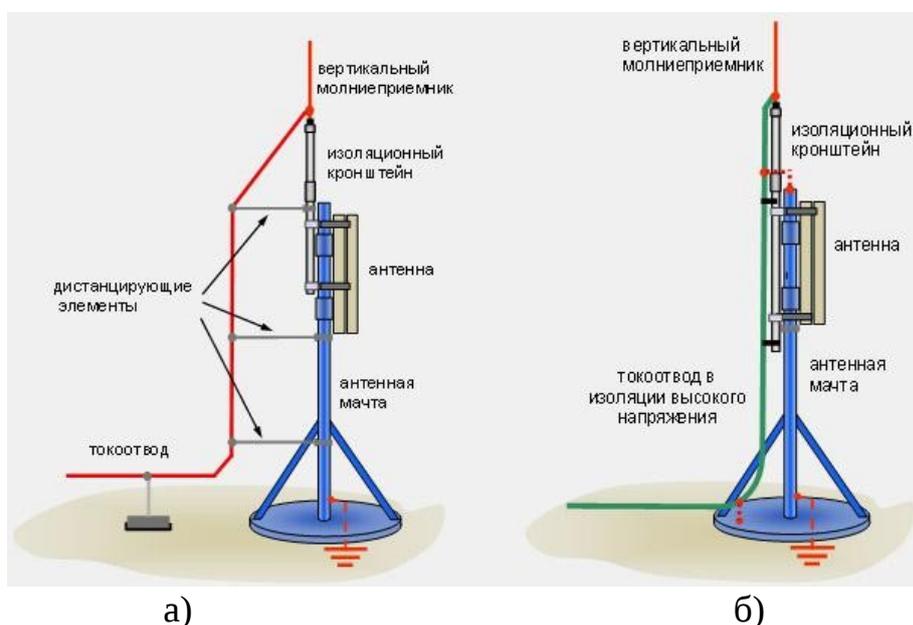


Рисунок 4.2 - Защита от молний антенн WiMAX: а) токоотвод с дистанцирующимися элементами; б) токоотвод в изоляции ВН

На вышеуказанном рисунке указан вертикальный молниеприемник. Изоляционный кронштейн необходим для изоляции антенны от токоотвод. Токоотвод может быть выполнен с помощью дистанцирующихся элементов (рисунок 4.2, а) или в изоляции высокого напряжения.

Для расчетов защищаемого радиуса необходимо воспользоваться схемой, указанной на рисунке 4.3б и спроектировать активную защищаемую зону 4.3а.

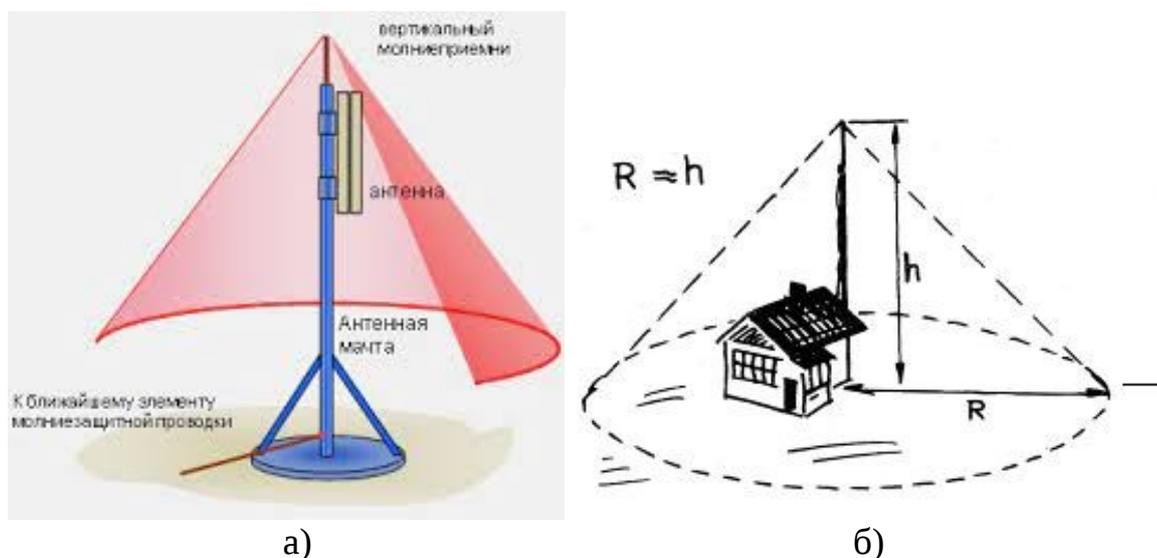


Рисунок 4.3 - Схема расчета высоты установки молниеотвода: а) активная защитная зона; б) схема для расчетов

Расстояние  $R$  и  $H$  соответственно защищаемый радиус и высота установки молниеотвода. Необходимо рассчитать активную и полную высоту молниеотвода используя формулу 4.1:

$$H_a = \frac{D * P}{8} \quad (4.1)$$

где,  $H_a$  – активная высота,  $D$  – диаметр защищаемой зоны, равная 10 м,  $P$  – постоянная равная 1 при  $h < 30$  м.

$$H_a = (D * P) / 8 = (10 * 1) / 8 = 1,25 \text{ м}$$

Необходимо установить штыревой молниеотвод на высоте 1,25 метров от антенны для обеспечения защитной конусообразной зоны вокруг антенны диаметром  $D = 10$  метров в основании конуса ( $R=5$  м).

Антенны подлежат активному заземлению. Заземление бывает 2 видов:  
 - искусственное;  
 - естественное.

Искусственным заземление служат определенные заземляющие аппараты, а естественное заземление — это заземление с использованием земли, вбиванием в нее заземляющих ножей.

Заземлитель закапывается в землю на определенную глубину. Заземлителем служат металлы активно проводящие электрический ток. Схема заземления указана на рисунке 4.4

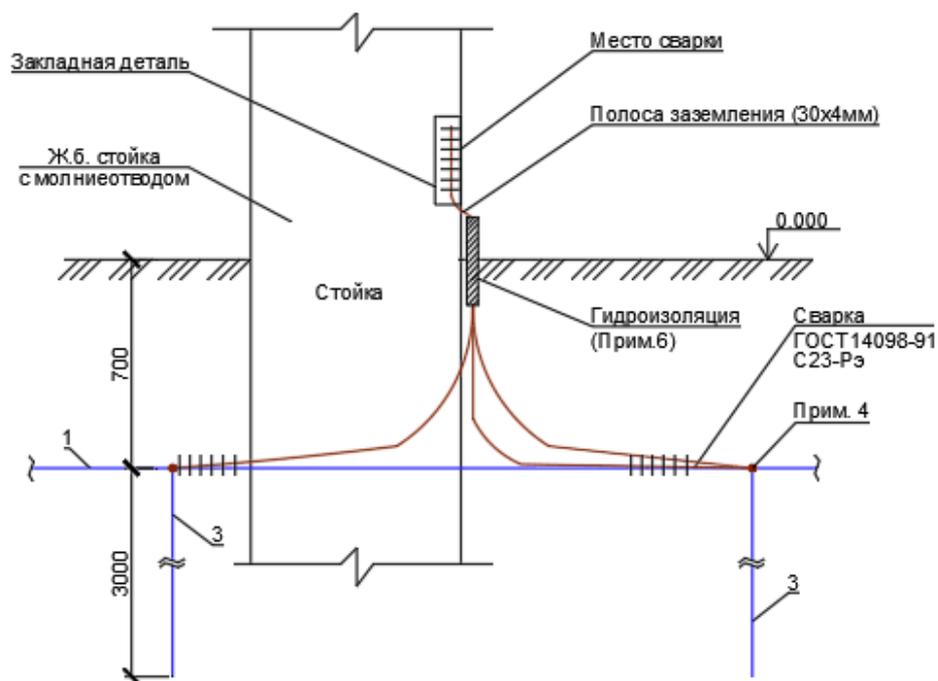


Рисунок 4.4 - Элементы заземления по всем стандартам ГОСТ

Закладная деталь сваривается с элементом молниеотвода или конструкции, которую необходимо заземлить. Далее на закладную деталь сваривается полоса заземления 30\*4 мм, которая сваривается с заземляющей решеткой (1). На заземляющий элемент наносят гидроизоляцию, при углублении до глубины 0,7 метров производят сварку с забитыми на глубину 3 метров заземляющими электродами (3).

Данное заземление должно находиться далеко от жилых дворов, входов в жилые помещения. Это необходимо для защиты людей при попадании молнии на штыревой молниеотвод. Так как при попадании молнии весь ток стекает в землю, а при нахождении вблизи людей, ток может нанести ущерб жизни человека.

#### 4.4 Перспективность развития беспроводных сетей в г. Туркестан

Так как город Туркестан является перспективным в строительстве городом, он широко развивается в построении жилых комплексов, исторических центров, социально-культурных зон, новых учебных заведений, колледжей, школ и университетов. Для развития инновационной грамотности в регионе необходимо иметь хороший доступ в интернет.

В наше время, интернет играет важную роль. Важно отметить, что необходимо развиваться в сторону беспроводных технологий. То есть

отказываться от проводных технологий и двигаться в сторону беспроводных, так как это перспективное направление.

Если снабдить качественным интернетом всех жителей города, то город активно волеется в век информационных технологий. В определенных местах города Туркестана установлена мобильная связь 5-го поколения 5G. Данная сеть даст новые возможности в развитие отрасли информационных систем, беспилотного транспорта, а также внедрения систем управления SmartGrid и создания Smart City.

Для внедрения новых технологий необходимо развернуть данные сети и увеличить дальность покрытия качественным, а более важно, бесплатным интернетом по всему городу.

Также немаловажную роль играет культурные и исторические центры. В первую очередь необходимо снабдить такие центры качественным интернетом. Так как данные места посещают множество туристов и поднимают экономику региона.

На рисунке 4.5 указаны исторические и туристические центры города Туркестан.

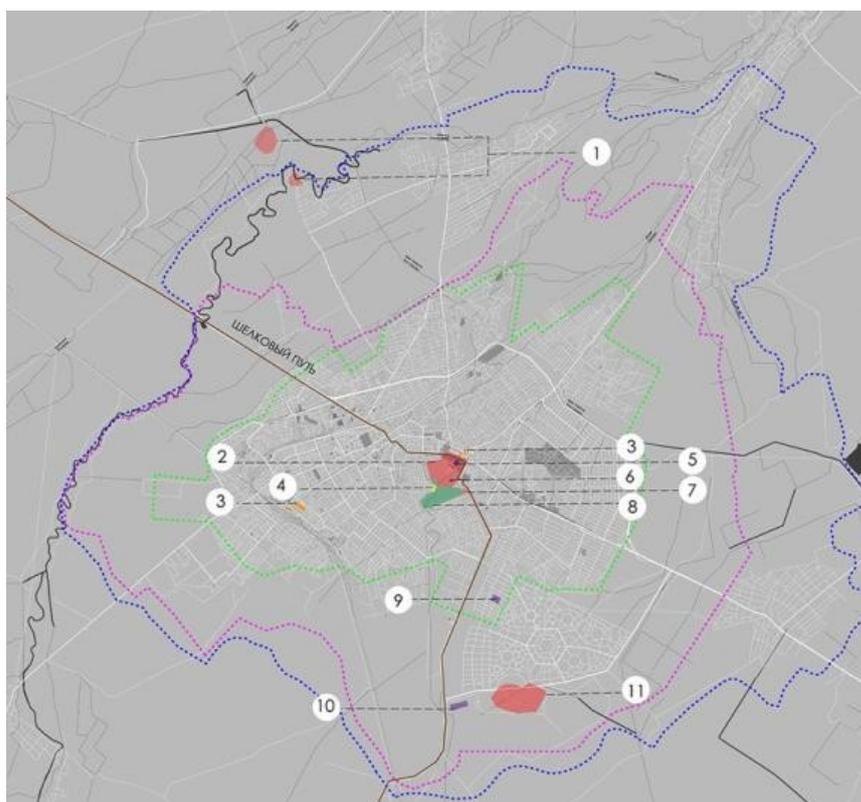


Рисунок 4.5 - Центры развития туризма

Объекты исторического наследия и центров развития туризма:

1. Карашыктобе;
2. Эски Туркестан;
3. Классицизм 19 века;

4. Кладбище Бухарских евреев;
5. Мавзолей Ясауи и Цитадель;
6. Культобе;
7. Аулие Кумшик ата;
8. Ханский луг;
9. Мавзолей Гаухар ана;
10. Шербай;
11. Городище Шавгар-Шайтобе.

Все вышеперечисленные центры туризма необходимо обеспечить отличной интернет связью. Установленные антенны базовой станции Sequans SQN2010 от компании Sequans покрывают все данные территории. Внедрение технологии WiMAX влечет за собой информационное развитие города, повышение экономического положения и быстрое развитие туризма в регионе.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данная дипломная работа «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX» была проделана мною с целью проектирования единой беспроводной сети WMAN в городе Туркестан используя технологию WiMAX. Поставленные цели и задачи были достигнуты. А именно был проделан:

- глубокий анализ внедрения беспроводной сети на основании технологии WiMAX в условиях города Туркестан;
- разделение города Туркестан на составные обслуживаемые зоны;
- проектирование базовых станций по всей территории города;
- выбор нового оборудования технологии WiMAX и методы его внедрения;
- расчет параметров сети;
- расчет потерь мощности в канале распространения.

В процессе проектирования базовых и абонентских станций было выбрано оборудование от компании Sequans БС SQN2010 и АС SQ1N010. При оценке распространения радиосигнала сети WiMAX были учтены следующие факторы:

- рельеф города;
- плотность городской застройки;
- культурные центры и центры туризма;
- влияние распространяющегося сигнала на живые организмы.

После учета вышеприведенных факторов были получены следующие результаты по территории покрытия:

- радиус покрытия базовой станции 2800 м;
- площадь покрытия одной БС 24,6 км<sup>2</sup>;
- общая площадь покрытия 270,6 км<sup>2</sup>.

Эффективность от внедрения технологии WiMAX для создания беспроводных сетей показала перспективность ее использования и удовлетворении потребностей абонентов.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ВАЙМАКС ФОРУМ Network Architecture. (Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points). Release 1, Version 1.2. – WiMAX ФОРУМ, January 15, 2007.
2. Duglas E. Kamer. Seti TCP/IP, t.1. Principy, protokoly i struktura, 4-e izd. – М.: Izdatel'skij dom "Vil'yams", 2002.
3. SHahnovich I. SHirokopolosnaya mobil'nost': IEEE 802.16e. Часть 1. – ELEKTRONIKA: NTB, 2006, №3, s.17–25.
4. Берлин А.Н. Сотово-цифровые основы связи М.: Эко-Трендз, 2007.
5. Власов В.А. Частотное урегулирование также предоставление информативной безопасности с целью организации Wi-Fi и ВАЙМАКС. // "Вестник связи". 2005. №9
6. В.В. Липаев Системное проектирование трудных программных средств для информационных систем Издательство: Синтег; 265 стр., 2001 г.
7. Skripkin K.G. System Design of Complex Tools for Information Systems Izdatel'stvo: DMK Press; 248 str., 2001 g.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И.Сатпаева

Отзыв руководителя

Дипломной работы

Айтакова Джамиля Ерлановна

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

**Тема:** «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX»

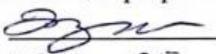
Данная дипломная работа «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX» была проделана мною с целью проектирования единой беспроводной сети WMAN в городе Туркестан используя технологию WiMAX. Поставленные цели и задачи были достигнуты.

Эффективность от внедрения технологии WiMAX для создания беспроводных сетей показала перспективность ее использования и удовлетворении потребностей абонентов.

Рекомендую к предварительной защите дипломную работу Айтакова Джамиля для получения степени бакалавра специальности 5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

**Научный руководитель**

Ассоц.-профессор, к.т.н. каф.ЭТиКТ

 К.Х.Жунусов

«23» 05 2022 ж.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И.Сатпаева

Отзыв руководителя

Дипломной работы

Айтакова Джамиля Ерлановна

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

**Тема:** «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX»

Данная дипломная работа «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX» была проделана мною с целью проектирования единой беспроводной сети WMAN в городе Туркестан используя технологию WiMAX. Поставленные цели и задачи были достигнуты.

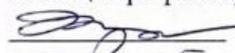
Эффективность от внедрения технологии WiMAX для создания беспроводных сетей показала перспективность ее использования и удовлетворении потребностей абонентов.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

Дипломная работа выполнена на оценку 95/А/«отлично», а дипломант, Айтакова Джамиля достойна степени бакалавра специальности 5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

**Научный руководитель**

Ассоц.-профессор, к.т.н. каф.ЭТиКТ

 К.Х.Жунусов

«23» 05 2022 ж.

## РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

Айтакова Джамиля Ерлановна

5B071900-Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Тема: «Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX»

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это технология передачи пакетов данных, основанная на семействе IEEE.

Произвела проектирование единой беспроводной сети WMAN города Туркестан используя технологию WiMAX. В процессе проектирования беспроводной сети WiMAX произвела следующие расчеты:

- анализ перспективности использования технологии WiMAX для создания беспроводных сетей;
- методы улучшения технологии проектирования сетей WiMAX;
- внедрение технологии беспроводной сети WiMAX в г. Туркестан.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

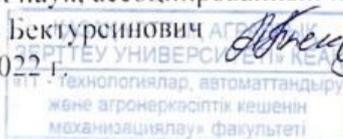
Дипломная работа выполнена на оценку 95/А/«отлично», а дипломант, Айтакова Джамиля достойна степени бакалавра специальности 5B071900-Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

### Рецензент

Кандидат технических наук, ассоциированный профессор КазНАИУ  
Токмолдаев Аманжол Бектурсинович

«    »

2022 г.



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Айтбаева Джамия Ерлановна

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX

**Научный руководитель:** Канат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 3.6

**Коэффициент Подобия 2:** 0.9

**Микропробелы:** 17

**Знаки из других алфавитов:** 18

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

25.05.2022  
Дата

Заведующий кафедрой


**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хағтамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор:** Айтакова Джамиля Ерлановна

**Тақырыбы:** Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX

**Жетекшісі:** Канат Жунусов

**1-ұқсастық коэффициенті (30):** 3.6

**2-ұқсастық коэффициенті (5):** 0.9

**Дәйексөз (35):** 1.4

**Әріптерді ауыстыру:** 18

**Аралықтар:** 0

**Шағын кеңістіктер:** 17

**Ақ белгілер:** 0

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілісін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

25.05.2022  
Күні

Кафедра меңгерушісі



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Айтакова Джамия Ерлановна

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Проектирование беспроводной сети на основе технологии WiMAX

**Научный руководитель:** Канат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 3.6

**Коэффициент Подобия 2:** 0.9

**Микропробелы:** 17

**Знаки из других алфавитов:** 18

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

24.05.22  
Дата

  
Наркышев С.  
проверяющий эксперт

