

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ
СВЯЗИ СТАНДАРТА IMT – 2000/UMTS-20ВТ/КАНАЛ**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи
заочной формы обучения, группы 07001364
Браганца Евгения Сергеевича

Научный руководитель
ст. преп.
кафедры
Информационно-
телекоммуникационных
систем и технологий
НИУ «БелГУ» Пеньков Е.П.

Рецензент
Преподаватель
«Белгородского
индустриального колледжа»
Гордиенко С.В.

БЕЛГОРОД 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОТОВОЙ СВЯЗИ	6
1.1 Состояние современного рынка связи в России	8
2 ПРИНЦИП РАБОТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ	11
2.1. Мобильная станция	13
2.2 Подсистема базовых станций	13
2.3 Центр коммутации мобильной связи	14
3 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМПЛЕКТАЦИЙ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ	16
3.1 Расположение оборудования базовой станции	16
3.2 Структура приема-передающей базовой станции	17
3.3 Преимущества современной архитектуры аппаратных средств	17
4 СТАНДАРТЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НА ТЕРРИТОРИИ РФ	21
4.1 Пути эволюции систем мобильной связи третьего поколения	22
4.2 Описание стандарта 3G IMT-2000	25
5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА IMT-2000/UMTS 20 ВТ/КАНАЛ	27
5.1 Анализ существующей сети и выбор места инсталляции	27
5.2 Состав и основные характеристики сетевого оборудования базовой станции	31

					<i>11070006.11.03.02.586.ПЗВКР</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разработал	Браганец Е.С.				Проектирование базовой станции радиотелефонной связи стандарта IMT – 2000/UMTS-20Вт/канал	Лит.	Лист	Листов
Проверил	Пеньков Е.П.						2	94
Рецензент	Гордиенко С.В.					<i>НИУ «БелГУ» зр.07001364</i>		
Н. Контроль	Пеньков Е.П.							
Утвердил	Жиляков Е.Г.							

5.3 Расчет зоны покрытия для проектируемой базовой станции стандарта IMT2000/UMTS	40
5.3.1 Расчет бюджета потерь - направление передачи БС – АС	42
5.3.2 Расчет бюджета потерь -направление передачи АС – БС	46
5.3.3 Расчёт радиуса зоны обслуживания базовой станции	50
5.3.4 Построение модели зоны покрытия в программной среде RPS2: Radio Planning System 2	51
5.4 Максимальная дальность соканальных помех	54
5.5 Определение числа каналов трафика	58
5.6 Определение плотности интерференции	61
5.7 Определение максимально возможной абонентской нагрузки базовой станции	62
5.8 Определение номинальной емкости базовой станции	63
6 ОХРАНА ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА	67
6.1 Требования к заземлению, молниезащите	67
6.2 Требования к электропитанию	70
6.3 Требования по безопасности и производственная санитария	73
6.4 Требования по охране окружающей среды	75
7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	76
7.1 Расчет капиталовложений	76
7.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов	79
7.3 Расчет тарифных доходов	84
7.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации	86
7.5 Выводы по разделу	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	93

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в коммуникационной сфере технологий и в экономике России, средства сотовой связи играют огромную роль. Разработки последних лет в области телекоммуникационных технологий сопряжены с созданием ряда решений, которые позволяют при развитии сетей нового поколения интегрировать существующие подключения и обеспечить бесперебойную работу в любой телефонной сети и в Интернете. Определяя актуальность данной темы, необходимо наибольшее внимание уделить такому стандарту подвижной радиотелефонной связи, как IMT – 2000/UMTS, так как это один из наиболее распространенных стандартов связи в России. Он объединяет в себе привычную для населения дуплексную голосовую связь и сегмент передачи данных, является стандартом связи третьего поколения (3G). Этот стандарт благодаря современным алгоритмам уплотнения сигнала позволяет добиться высокой емкости сети.

Необходимость надежной широкополосной связи, которая будет доступна в любое время и в любом месте повлияла на активное развитие IMT – 2000/UMTS. По данным Минкомсвязи России [1] на 2016 год в сетях операторов «большой четверки» зарегистрированы свыше 243 миллионов сим-карт по всей стране. С увеличением количества абонентов растет загруженность сети, и тем самым требуется расширение башенной инфраструктуры в сетях операторов сотовой связи, а также возрастает необходимость проектировки и монтажа новых, не дорогих и качественных базовых станций, обладающих высокой емкостью и низким энергопотреблением.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование базовой станции радиотелефонной связи стандарта IMT – 2000/UMTS-20Вт/канал, для расширения сети в районе с высокой проходимостью. Проектируемая базовая станция должна обладать малым энергопотреблением и высокой абонентской емкостью. Аппаратная

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

составляющая должна состоять из мультистандартного сетевого оборудования, для рентабельного перехода на стандарт 4G. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Провести анализ инфраструктуры района Курского вокзала г. Москва;
- Определить подходящее место установки базовой станции;
- Произвести расчёт зоны покрытия;
- Определить возможную дальность соканальных помех и абонентскую емкость базовой станции при разных условиях нагрузки;
- Выбрать аппаратную составляющую базовой станции;
- Разработать структурную схему оборудования, план расположения АФУ и схему заземления и молниезащиты;
- Привести технико-экономическое обоснование проекта.

						Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОТОВОЙ СВЯЗИ

На данный момент сотовая связь затрагивает большинство сфер жизнедеятельности граждан Российской Федерации. Внутренняя экономика, учитывая огромную площадь страны, не может активно развиваться без мобильной связи. Так же, в последние годы возросла необходимость обеспечения высокоскоростной передачи данных, для сервисов, работающих в online режиме, многие из которых сопряжены с геопозиционными данными. Большая часть подобных услуг направлена на упрощение и интерактивность привычных операций пользователя, в личной или деловой сфере.

Мобильные устройства позволяют пользоваться любой открытой информацией практически повсеместно, но с недавних пор в этой сфере вводится контроль доступа. Например, ужесточение мер борьбы с антитеррористической угрозой, требует от владельцев общественных точек Интернет доступа организовать авторизацию через сим-карту, которая в свою очередь, зарегистрирована на паспортные данные посетителя. Даже государственные услуги используют авторизацию на сайте, без которой, к примеру, нельзя приступить к получению загранпаспорта, следовательно, необходимость бесперебойного доступа с мобильного телефона к сети Интернет, неоспорима.

Рынок мобильной связи по праву считается много лет одной из самых удачных ниш для бизнеса. Во всем мире данный вид коммуникации пользуется огромной популярностью, потому компании, предоставляющие ее, никогда не испытывают недостатка в абонентах. Однако ситуация в последние годы меняется не в лучшую сторону, и тому есть несколько причин:

- Повышение доступности услуг связи и мобильных телефонов;
- Повышение требований абонентов к качеству покрытия;
- Увеличение количества компаний операторов;
- Общее снижение финансовых возможностей потребителей.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ведущие операторы сотовой связи России обеспечивают потребителям качественное радио-покрытие, охватывающие даже самые отдаленные населенные пункты. Сейчас можно использовать мобильный телефон в метро, на верхних этажах высотных зданий и в промышленных ангарах, своды которых сделаны из железобетона или металла. Появились дополнительные услуги, которые абоненты получают за символическую плату. К примеру, операторы сотовой связи могут обеспечить абонента сим-картой, с бесперебойным Интернет доступом, для интеграции с системой «умный дом» и удаленного управления ею. Сети 3G и 4G сейчас пользуются высокой популярностью, и компании понимают, что это прекрасный способ привлечения новых клиентов.

На данный момент миллионы абонентов получают от операторов такие базовые услуги как:

- Передача голосовых сообщений;
- Передача текстовых сообщений;
- Передача графических изображений;
- Выход в Интернет;
- Совершение звонков в роуминге;
- Бесплатный Интернет трафик в популярных социальных сетях;
- Заказ и оплата товаров и услуг, и т.д.

Буквально, 5 лет назад, такой возможности не было, потому что инфраструктура базовых станций не охватывала все труднодоступные места и была оснащена оборудованием с недостаточной пропускной способностью. Тем не менее, и сейчас существует небольшая проблема неравенства регионов. Но «белые пятна» на картах зон покрытия с каждым годом сводятся к минимуму. Компании сотовой связи заботятся, чтобы пользователи получали покрытие отменного качества. В прошлом году Минкомсвязи выпустило всероссийскую «народную карту» качества покрытия сетями сотовой связи. Наполнением карты занимаются сами абоненты, текущего числа пользователей приложения пока недостаточно для репрезентативности исследования качества связи по

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

всей России, но судя по проявленному интересу, население, как и государство, активно поддерживает сферу сотовой связи.

Станции сотовой связи могут передавать сигнал на расстояние до 7 км, но это при условии, что на их пути не будут встречаться преграды. Любые строения с толстыми стенами, деревья и другие объекты являются отражателями волн, потому сигналы сотовой связи могут пропадать, даже если мобильный телефон находится в зоне действия вышки. В основном, по всей территории страны для обеспечения голосовой связи используется диапазон GSM 900/1800, обладающий более высокими свойствами преодоления физических препятствий и промышленных помех, благодаря длине волны. На более высоких частотах стандартов третьего поколения проникающая способность ниже, поэтому для хорошего покрытия, требуется больше мест установки оборудования. В условиях плотной застройки улучшение покрытия осуществляется путем установки дополнительных репитеров, которые могут усиливать сигналы.

1.1 Состояние современного рынка связи в России

Рынок сотовой связи в России начал свой активный рост в 2001 году, именно в это время компании начали массово получать новых абонентов. Расширение потребительской базы производилось за счет занижения стоимости услуг, следовательно, операторы работали в убыток. Однако стремительный рост популярности на услуги сотовой связи доказал, что данный метод оказался оправданной инвестицией, так как за 2001 год количество абонентов увеличилось на целых 130%. В то время покрытие сотовой связью начало активно расширяться, жители самых отдаленных уголков страны получили возможность общаться на расстоянии друг с другом.

Основными игроками отечественного рынка стали операторы: МТС (Мобильные Теле Системы), Билайн (ВымпелКом), МегаФон и Tele2.

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Четыре основные компании распределили между собой современный рынок, и активно борются за привлечение новых абонентов, расширяя свои сети сотовой связи. В 2014 году, по данным аналитической компании J'son & Partners [2], первенство в сегменте занял МТС, так как его экономические показатели оказались наиболее стремительно растущими, почетное второе место занял Билайн, который постоянно предоставляет новые услуги абонентам, но, в то же время, имеет довольно слабо развитую сеть официальных представительств. МегаФон занимает 3 место, так как является довольно молодой компанией, основанной в 2002 году, но предоставляет услуги голосовой связи по ценам, ниже, чем у конкурентов. И ещё совсем молодой игрок Tele2, который начал предоставлять свои услуги сначала в регионах, а только потом в городах миллионниках. Тем не менее, в 2016 году, по темпам роста количества абонентов из компаний "большой четверки" лидирует оператор Tele2, который продемонстрировал наибольший прирост клиентской базы как в I квартале 2016 года, так и год к году. В компании объясняют такой прогресс интеграцией мобильных активов ПАО "Ростелеком" и запуском услуг мобильной связи в 23 новых регионах. По абсолютному показателю лидером остается МТС (77,3 миллиона абонентов). На 2017 год показатели ещё не опубликованы, но уже очевидно, что благодаря развитию 4G покрытия, на лидирующие позиции выйдет и компания Мегафон.

Каждая компания, предоставляющая услуги мобильной связи, сейчас борется за сохранение существующих абонентов, и привлечение новых. Именно по этой причине практически в каждом городе расположены официальные представительства операторов. Салоны сотовой связи предоставляют клиентам возможность получить квалифицированную помощь в выборе тарифных планов, составлении пакетов услуг и других нюансах. Также каждый пользователь может в режиме реального времени связаться со службой технической поддержки или оператором, чтобы получить интересующую его информацию, и провести максимально корректно различные операции.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Компании сотовой связи очень ответственно подходят к выбору и обучению персонала, который предоставляет потребителям информацию об услугах и продуктах. В результате каждый абонент может в круглосуточном режиме получать квалифицированную помощь и ответы на все интересующие его вопросы. Это значительно повышает лояльность клиентов, и помогает расширять потребительскую базу.

В 2015 году впервые за историю сотовых сетей в России был отмечен незначительный спад на спрос услугами связи (приблизительно 1.5-2%). Такие показатели не являются критичными, однако, они говорят о том, что обмен информацией через Интернет понемногу замещает мобильную связь. Именно по этой причине все операторы взяли на вооружение расширение сетей 3G и 4G, которые помогают сохранить клиентскую базу. Эксперты уверены, что сотовая связь в России будет развиваться и дальше, несмотря на временный спад, так как он связан не только с расширением перечня дополнительных услуг коммуникации, но и с общим мировым кризисом.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 ПРИНЦИП РАБОТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Первым действующим стандартом в большинстве стран мира был GSM. На его основе стоит рассмотреть архитектуру сети сотовой связи. Основные составляющие сотовой сети – это мобильные телефоны и базовые станции, которые обычно располагают на крышах зданий и вышках. Базовые станции и телефоны излучают радиосигнал, тем самым поддерживая постоянный радиоконтакт между собой.

Мобильная сеть включает большое число базовых станций, зоны обслуживания которых, частично перекрываются, ввиду ограниченности их передающей мощности. Таким образом, зона, в которой теоретически гарантирована связь мобильного телефона с рассматриваемой базовой станцией, в плане представляет собой многогранник - ячейку, напоминающую пчелиную соту, рисунок 2,1. Именно, отсюда этот вид мобильной радиосвязи получил свое название — сотовый.

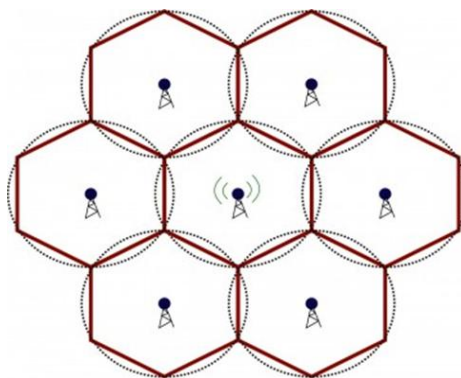
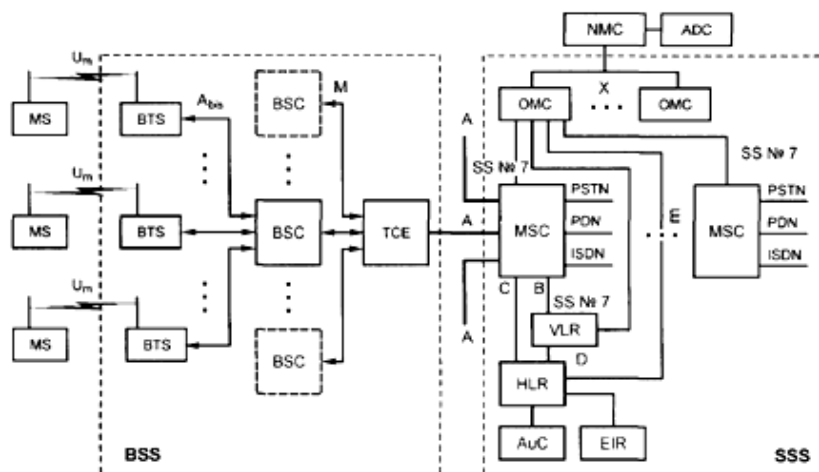


Рисунок 2.1 – Принцип построения башенной инфраструктуры

Сеть GSM состоит из ряда функциональных объектов, назначение и интерфейсы которых отражены на рисунке 2.2.



ADC	Administration Center	Административный центр
AuC	Authentication Center	Центр аутентификации
BTS	Base Transceiver Station	Базовая приемо-передающая станция
BSC	Base Station Controller	Контроллер базовой станции
BSS	Base Station System	Подсистема базовой станции
EIR	Equipment Identification Register	Регистр идентификации оборудования
HLR	Home Location Register	Домашний регистр местоположения
ISDN	Integrated Services Digital Network	Цифровая сеть с интеграцией служб
MS	Mobile Station	Мобильная станция
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации мобильной связи
NMC	Network Management Center	Центр управления сетью
OMC	Operation and Maintenance Center	Центр эксплуатации и технического обслуживания
PDN	Packet Data Network	Сеть пакетной коммутации
PSTN	Public Switched Telephone Network	Телефонная сеть общего пользования
SSS	Switching Subsystem	Коммутационная подсистема
VLR	Visit Location Register	Визитный регистр местоположения
TCE	Transcoder Equipment	Транскодер

Рисунок 2.2 - Архитектура и интерфейсы сети сотовой связи

Центр коммуникации мобильной связи (MSC), служит для коммутации между мобильными станциями и между подвижными или стационарными пользователями сети. MSC также управляет работой, связанной с перемещением абонента. Так же большую роль играет центр обслуживания или центр мониторинга сети, который наблюдает за надежным функционированием и изменениями в сети определенного региона, на рис. 2.2 он не показан. Подсистема базовых станций взаимодействует с центром коммутации мобильной связи по А-интерфейсу. Мобильная станция и подсистема базовых станций связываются по интерфейсу U_m , также известному как «воздушный интерфейс» или радиолиния связи.

2.1. Мобильная станция

Мобильная станция (MS) или мобильный телефон состоит из подвижной аппаратуры (терминал) и карты с интегральной схемой, которая называется модулем абонентской идентификации. SIM-карта обеспечивает при перемещении, доступ пользователя к оплаченным услугам независимо от используемого терминала.

Подвижная аппаратура однозначно определяется с помощью международного опознавательного кода (идентификационного номера) мобильного оборудования (IMEI – International Mobile Equipment Identity). SIM-карта содержит международный опознавательный код мобильного абонента (IMSI - International Mobile Subscriber Identity), используемый для идентификации абонента, секретный код для удостоверения подлинности и другую информацию. IMEI и IMSI независимы в целях обеспечения наиболее вероятного опознавания личности и оборудования при передвижении абонента.

2.2 Подсистема базовых станций

Подсистема базовых станций содержит два вида оборудования: базовую приемопередающую станцию (BTS - Base Transceiver Station) и контроллер базовой станции (BSC – Base Station Controller). Они взаимодействуют через стандартизированный интерфейс $A_{\text{бс}}$ (см. рис. 2.2). Базовые станции бывают связаны между собой, по средствам ВОЛС в условиях плотной застройки и радиорелейными линиями в зоне прямой видимости. В монтажной сфере данное BTS сопряжение известно как, «транспорт». Передача вызовов внутри соты, управляемых одним контроллером базовых станций (BSC), осуществляется этим же контроллером. Когда передача вызовов осуществляется между двумя сетями, управляемыми разными BSC, то первичное управление осуществляется в центре коммутации мобильной связи (MSC). В стандарте GSM также предусмотрены процедуры передачи вызова

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, используя домашние регистры местоположения (HLR - Home Location Register) и визитные регистры местоположения (VLR – Visit Location Register).

2.3 Центр коммутации мобильной связи

Центральный компонент подсистемы сети - центр коммутации мобильной связи (MSC). Он работает как обычный узел коммутации общедоступной телефонной сети (PSTN) или цифровой сети интегрального обслуживания (ISDN). Дополнительно он обеспечивает все функциональные возможности мобильного абонента, такие как регистрация, аутентификация, обновление местоположения, передача соединения (хэндовер) и маршрутизация вызова при передвижении объекта. Эти задачи обеспечиваются совместно с несколькими функциональными объектами, которые в совокупности формируют коммутационную подсистему сети. При передаче сигналов между функциональными объектами в коммутационной подсистеме сети используется общий канал сигнализации OKC-7 (SS7), такой же, как используется для обмена в ISDN и в сетях общего пользования. MSC интегрирует информационные потоки в фиксированные сети, такие как телефонная сеть ISDN, более того MSC аналогичен коммутационной станции ISDN и реализует интерфейс между сетью подвижной связи и фиксированными сетями: PSTN, PDN, ISDN и т.д. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами.

Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция. Каждый центр коммутации мобильной связи обеспечивает обслуживание подвижных абонентов, находящихся в пределах определенной географической локации, например, Белгород и область. Кроме стандартных возможностей обычной коммутационной станции ISDN, на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов. К ним относятся, «эстафетная передача», в

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

процессе которой достигается непрерывность соединения, при перемещении подвижной станции из одной соты в другую и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей. То есть MSC не только участвует в управлении вызовами, но также управляет процедурами передачи управления и регистрации местоположения, не считая передачу управления непосредственно в подсистеме базовых станций (BSS). Регистрация местоположения подвижных станций нужна для обеспечения точной доставки вызова перемещающимся абонентам от абонентов телефонной сети общего пользования или от других подвижных абонентов. Процедура передачи вызова позволяет сохранять соединение и обеспечивать ведение разговора. Кроме управления процедурами установления вызова и маршрутизации MSC:

- Поддерживает процедуры безопасности, применяемые для управления доступом к радиоканалам;
- Регистрирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи;
- Сохраняет данные о состоявшихся разговорах и передает их в центр расчетов (биллинг-центр);
- Составляет статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМПЛЕКТАЦИЙ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

3.1 Расположение оборудования базовой станции

Базовые станции операторов в черте города достаточно компактны, чаще всего устанавливаются на крышах зданий и для простого обывателя неприметны, рисунок 3.1.



Рисунок 3.1 – Места расположения городских BTS

А в области, где высотных сооружений не так много, базовые станции устанавливают существующие мачты, башни и трубы промышленных предприятий. Но чаще всего для базовых станций строятся специальные вышки, зачастую предназначенные не только для сотовой связи, но, к примеру, и для телевидения.



Рисунок 3.2 – Разновидности вышек для BTS на открытой местности

В контейнерах и боксах для установки на открытой местности кроме самой базовой станции, есть ряд вспомогательного оборудования, такого как

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

система климат- контроля, аварийная сигнализация, система пожаротушения и источник бесперебойного питания. ИБП с помощью аккумуляторных батарей может обеспечить работоспособность базовой станции на некоторое время при отсутствии внешнего электропитания, входит в стойку питания, которая преобразовывает напряжение 380В или 220В из переменного тока в напряжение 48В постоянного тока и распределяет питание по узлам BTS.

3.2 Структура приемо-передающей базовой станции

На BTS размещается приемопередатчик, который для одной определенной соты реализует Um протоколы взаимодействия радиолинии с передвижной станцией. В большом городе обычно размещено много BTS. Поэтому основные требования к BTS - прочность, надежность, портативность и минимальная стоимость.

Сигнал принимается антеннами на один из секторов базовой станции. Проходит через усилитель, где выравнивается уровень принимаемого и передаваемого сигнала. Затем, усиливается с помощью выносного управляемого радио-модуля. Через блок управления базовой станции (BTS) поступает на контроллер базовой станции (BSC) по радиорелейному тракту или по оптоволокну и в редких случаях двухсторонней спутниковой антенной со спутниковым модемом.

Блок управления BTS обрабатывает сигнал, управляет выбором и коммутацией по радиоканалу, скачком частоты и передачей соединения (хэндовером). Данные обрабатываются и передаются на коммутаторы голосового и пакетного трафика, соединяя абонентов между собой и с сетью Интернет.

3.3 Преимущества современной архитектуры аппаратных средств

С начала 90-х годов устройство базовой станции сильно эволюционировало, в сторону надёжности, автономности и минимизации

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

размеров оборудования. Разница между старым устройством базовой станции (слева) и тем, что принято на сегодняшний день, наглядно показана на рисунке 3.4, на примере оборудования компании Nokia Solutions and Networks.

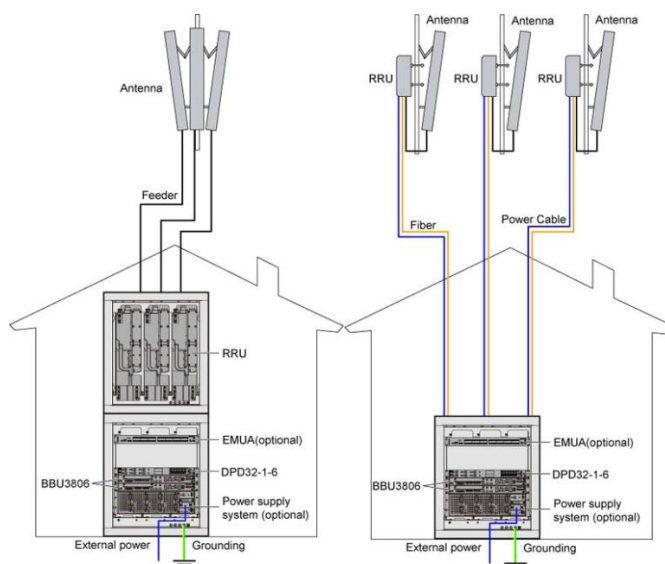


Рисунок 3.4 – Различия базовых станций старого и нового образца

Раньше на крышу поднимался фидерный тракт. Он практически не сгибался руками, имел большой вес и требовал умеренных погодных условий для установки разъемов, во избежание окисления. Новое соединение, оптоволокно в бронированном кабеле, гибкое и лёгкое в обслуживании и монтаже. Как было отмечено выше, кроме антенн для передачи сотового сигнала, существуют антенна для передачи информационных потоков между базовыми станциями, они тоже претерпели изменения. Вот лишь некоторые из них:

- Можно применять антенны меньшего размера, за счет применения алгоритмов снижения искажений (выравнивание), что в свою очередь снижает стоимость узла;
- РРЛ антенна iPASOLINK с двойной поляризацией за счет применения уникальной разработки NEC – технологии XPIC, позволяет удвоить емкость канала до 880Мб/с в полосе 56МГц;

- В трансмиссионных модулях появились универсальные слоты, позволяющие работать модему в разных режимах, в зависимости от характеристик проектируемой сети, например: (QPSK/16/32/64/128/256QAM, 7/14/28/56MHz) Высокие типы модуляции (до 256 QAM) с передачей чистых Ethernet и TDM с высокой спектральной эффективностью, достигаемой на 256 QAM и с технологией передачи на двух поляризациях;

- Функция AMR, с непрерывным переключением модуляций;
- Высокая энергетика пролетов;
- Свободный выбор частоты и простая настройка;
- Расширяемая модульная архитектура, то есть любая универсальная карта (Модем/INTFC) может быть использована в любом универсальном слоте;
- Качественная интеграция с оптическими системами, которые, как известно на начальных этапах внедрения в сотовую связь третьего поколения имели пропускную способность на порядок выше, что повлияло на развитие РРЛ оборудования.

Радиорелейная антенны используется там, где нет возможности передачи информации между базовыми станциями с помощью оптических кабелей или таковая финансово не целесообразна, в силу больших расстояний между (BTS).

Внедрение оптоволокна тоже позволило извлечь ещё несколько важных выгод: уменьшился расход энергии на несколько процентов по всей сети (потому что блок стал охлаждаться естественным образом на улице), уменьшился расход меди для кабелей. Увеличилась скорость передачи информации.

Секторные антенны тоже получили большой функционал. В настоящее время применение трехдиапазонной антенны позволяет покрывать сектор тремя полосами частот: 900 МГц, 1800 МГц и 2100МГц. На данной антенне установлен тройной управляющий мотор (RET). Недостаток состоит в больших размерах и массе (что немного затрудняет её обслуживание), а преимущество – уменьшение площади аренды для оператора сотовой связи, а так же

возможность удаленной регулировки мощности на каждом диапазоне в отдельности и угла излучения радиоволн.

Небольшие размеры выносных управляемых радио-модулей (RRU) позволили устанавливать их непосредственно рядом антеннами, за исключением южных регионов, где бывает недостаточно естественного охлаждения. Управляющие блоки с уменьшением габаритных размеров, так же приобрели возможность удаленной программной работы, более высокую производительность и возможность многоканального сопряжения с RRU по оптоволокну. Например, раньше, когда было необходимо передать к антенне сигналы в нескольких диапазонах, в 900 и 2170. Там, где нельзя было проложить второй кабель, использовался комбайнер, который действует по принципу – мультиплексор и демультимплексор. Качество линии естественно страдало от таких модернизаций.

Благодаря вышеописанной минимизации размеров и веса БС, операторы получили большую экономию денежных ресурсов на модернизации сети, а так же возможность устанавливать оборудование на мачтах высотой немного больше фонарного столба. Другие изменения привели к увеличению зоны покрытия, повышению пропускной способности сети и к уменьшению стоимости оборудования.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 СТАНДАРТЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НА ТЕРРИТОРИИ РФ

Стандарт GSM относится к сетям второго поколения цифровой сотовой связи 2G, со скоростью передачи данных до 9,6 кбит/с, с разделением каналов по времени TDMA и частоте FDMA. Включает в себя три диапазона частот GSM 900, GSM 1800 и E-GSM. Каждый из диапазонов частот разделен на каналы, а каждому каналу присвоен свой порядковый номер: GSM 900 - на 124 канала (№ 0-124), GSM 1800 (DCS-1800) - на 374 канала (№ 512-885), EGSM-900 на 50 каналов (№ 974-1023). Стандарт мобильной связи 3G относится к сетям третьего поколения связи, со скоростью передачи данных до 3,6 Мбит/с. В России чаще всего используются два стандарта UMTS и CDMA, в основе которых лежит одна и та же технология — CDMA (множественный доступ с кодовым разделением каналов). Стандарт мобильной связи 4G относится к сетям четвертого поколения связи, со скоростью передачи данных свыше 100 Мбит/с, предоставляется в стандарте LTE. Все перечисленные диапазоны сведены в таблицу 4.1, с указанием частот.

Таблица 4.1 – Диапазоны стандартов сотовой связи, работающих в России

Стандарт	UpLink	DownLink
E-GSM	880-890 МГц	925-935 МГц
GSM900	890-915 МГц	935-960 МГц
GSM 1800	1710-1785 МГц	1805-1880 МГц
3G/UMTS200	1920 – 1980 МГц	2110 – 2170 МГц
3G/CDMA450	453-457,5 МГц	463-467,5 МГц
4G/LTE2500	2500-2570 МГц	2620-2690 МГц
4G/LTE800	832-862 МГц	791-821 МГц

В связи с загруженностью диапазона 2000 МГц, операторы стали предоставлять услуги 3G связи в диапазоне GSM900 и EGSM.

4.1 Пути эволюции систем мобильной связи третьего поколения

Большинство из будущих направлений мобильных систем третьего поколения (3G) обнаруживаются в ходе разработки стандартов этого поколения. Во первых внедряются такие услуги, как беспроводной доступ услугам Интернета, бесперебойный доступ к сети, видео связи и др.

Термин 3G, означающий третье поколение, в ходе разработки стал довольно неопределенным. Вначале положения о системах третьего поколения были определены довольно точно в рамках стандартов. Они ставили целью обеспечить характеристики мобильной связи не хуже чем в системе ISDN. При скорости обмена данными 144 кбит/с. Во время перехода от поколения 2G к 3G, некоторые первоначальные стандарты, такие как «Общая радиослужба пакетной передачи» (GPRS – General Packet Radio Service) и IS-95, могли обеспечивать характеристики, близкие намеченным в 3G при некоторых оптимальных условиях. Например, служба пакетной передачи предполагала скорость не более 115 кбит/с. То есть системы 3G вначале не были предназначены для широкого использования из-за дороговизны терминалов и оборудования базовых станций. Технологически увеличение скоростей реализовывалось несколькими способами: расширением используемого спектра и новыми методами модуляции, использующими сжатие данных при заданном частотном диапазоне. К примеру, новые методы модуляции заменяют традиционную двоичную систему системой с большим значением одного разряда (амплитудно-фазовая модуляция). Требования к системам третьего поколения более подробно были сформулированы МСЭ - международным союзом электросвязи в рекомендациях ИМТ-2000. Наиболее важные из них:

- глобальный роуминг;
- сочетание пакетной коммутации данных и коммутации каналов;
- эффективное использование спектра;
- открытая архитектура;

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

- обеспечение передачи речи, данных и мультимедийной информации;
- качество речи, сопоставимое с проводной связью;
- защита информации, сопоставимая с уже имеющейся в ТфОП/ISDN;
- совместная работа со спутниковыми системами;
- высокая скорость передачи данных;
- поддержка иерархической структуры сот;
- подход к повышению скорости передачи данных до 2 Мбит/с.

Эволюция сетей 3G продвигалась по-разному в разных странах, по различным стандартам и технологическим направлениям. В Европе закрепились тенденции разработки систем на основе CDMA, совместимых с GSM, но в данном случае не предполагалась совместимость в глобальном масштабе. В США много сторонников эволюционного развития cdmaOne к системе cdma2000. В свою очередь эти стандарты исключают возможность взаимодействия с европейской и японской системами. В результате глобальный роуминг виделся возможным только с использованием многорежимного телефона. Последнее требование было важным для поставщиков услуг, и мировых производителей мобильных телефонов. Наиболее подходящим является эволюционный путь развития. В книге А.И. Берлина «Цифровые сотовые системы связи» 2007г. [3] был показан один из многих вариантов такой эволюции (рис. 4.1).

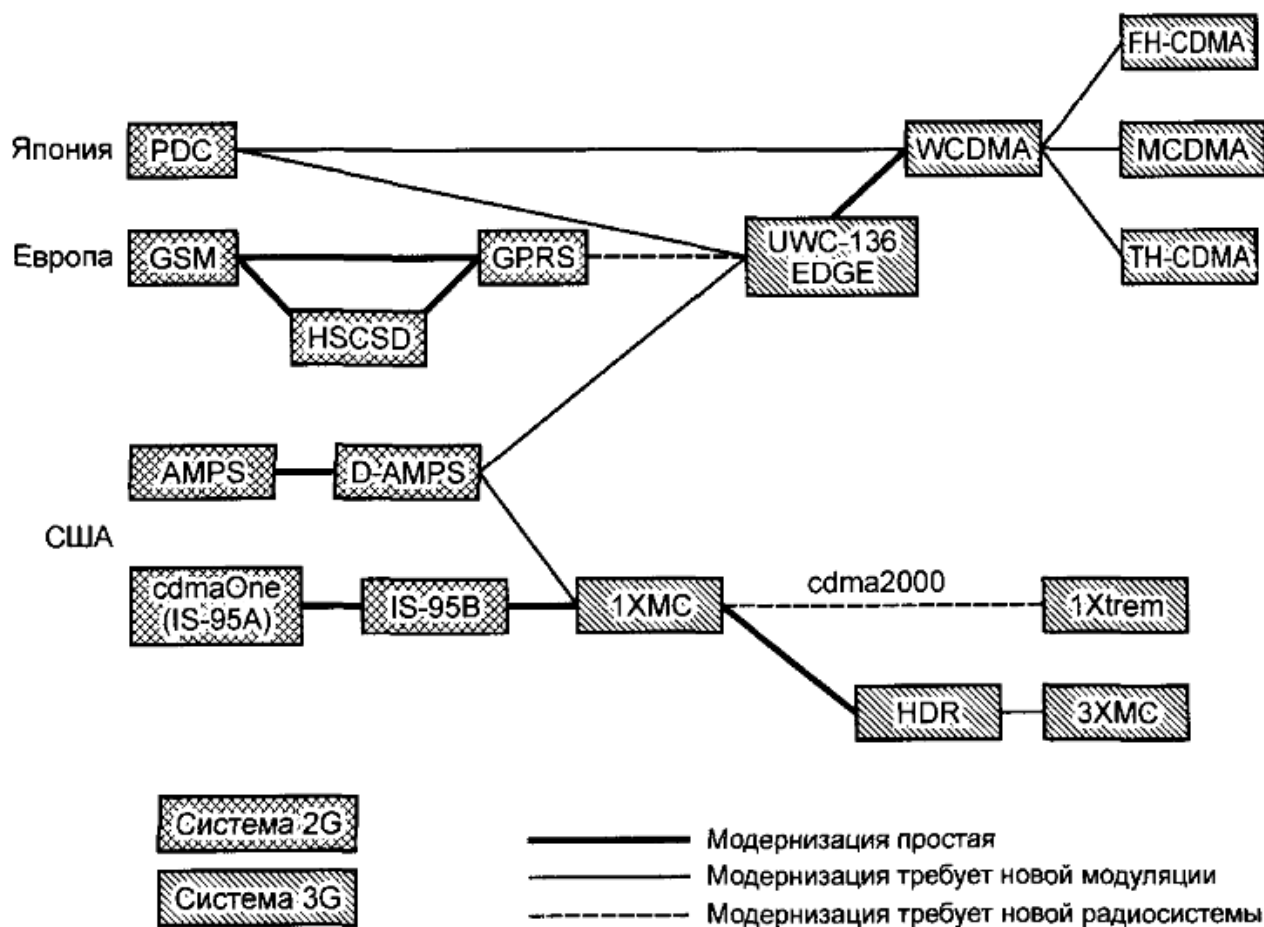


Рисунок 4.1 - Эволюционный путь развития 3G сетей (А.И. Берлин «Цифровые сотовые системы связи» 2007г)

В связи с изложенными требованиями стандарты мобильной связи должны были предусматривать совместимость с их предшественниками. Конечная цель заключалась в том, чтобы ранее выпущенные телефоны могли обеспечить соединение при перемещении между сотами, поддерживающими старые и новые технологии.

В апреле 2007 г. Федеральным агентством связи РФ (Россвязь) проводился конкурс на право предоставления услуг подвижной радиотелефонной связи с использованием полос частот в трех диапазонах 1935-1950 МГц, 2010-2015 МГц, 2125-2140 МГц. По сути это было началом внедрения услуг 3G на территории России. Как сказано в книге А.И. Берлина

«Цифровые сотовые системы связи» 2007г.[3]: основные прогнозы по внедрению систем 3G, состояли из трех принципиальных моментов:

1. Системы, относящиеся к 3G, являются наиболее совместимыми с существующим оборудованием, дешевыми и имеют большие перспективы развития, поскольку в них вложены большие средства и имеется хорошая административная база.

2. Россия имеет шанс сразу перейти на широкополосную систему.

3. Система 3G и широкополосные системы имеют разные области применения на рынке услуг и могут существовать параллельно.

Концепции развития и прогнозы десятилетней давности оказались по большей части верными. На сегодняшний день мобильная связь третьего поколения построена на основе пакетной передачи данных. Сети 3G работают на границе дециметрового и сантиметрового диапазона, как правило, в диапазоне около 2 ГГц, передавая данные со скоростью до 3,6 Мбит/с. Дает возможность организовывать видеотелефонную связь, смотреть на мобильном телефоне online-TV, а так же передавать и принимать различный контент в режиме реального времени.

4.2 Описание стандарта 3G IMT-2000

Стандарт 3G был разработан Международным союзом электросвязи и носит название IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000).

Проект IMT-2000 ставил перед собой следующие цели:

- реализацию набора новых услуг;
- мобильная связь со скоростью передачи данных выше 20 Мбит/с;
- освоение частотной области 2000 МГц;
- достижение указанных целей к 2000 г.

В итоге приняла очертания основная цель - гармонизация и взаимодействие систем третьего поколения для обеспечения глобального

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

роуминга. В настоящее время эта цель трудноосуществима, потому что многие из систем работают в разных стандартах, и, по сути, под аббревиатурой ИМТ-2000, объединены 5 стандартов, а именно:

- WCDMA
- CDMA2000
- TD-CDMA/TD-SCDMA
- DECT
- UWC-136

Из пяти перечисленных стандартов только три первых - WCDMA, CDMA2000 и TD-CDMA/TD-SCDMA обеспечивают полное покрытие в макро, микро и пико - сотах, поэтому фактически только они могут рассматриваться в качестве полноценных осуществленных 3G-решений. В числе остальных стандартов, DECT используется, в частности, в беспроводных телефонах домашнего и офисного назначения, а UWC-136 - это просто другое название технологии EDGE, которую обычно относят к переходному стандарту 2,5G.

Согласно сформированным на сегодняшний день стандартам ИМТ-2000 под мобильной связью третьего поколения понимается интегрированная сеть, обеспечивающая следующие скорости передачи данных:

- для абонентов с высокой мобильностью (до 120 км/ч) - 144 кбит/с;
- для абонентов с низкой мобильностью (до 3 км/ч) - 384 кбит/с;
- для неподвижных объектов на коротких расстояниях - 2,048 Мбит/с.

WCDMA (другое название - UMTS, Universal Mobile Telecommunication System - универсальная система мобильной связи), - это стандарт, который принят в Европе и Японии. UMTS, по сути, это апгрейд стандарта GSM через переходные этапы в виде GPRS и EDGE. Наземная часть UMTS известна как UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). FDD-компонент UTRA основан на стандарте WCDMA (UTRA FDD). Он обеспечивает передачу данных со скоростью до 2 Мбит/с.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА IMT-2000/UMTS 20 ВТ/КАНАЛ

5.1 Анализ существующей сети и выбор места инсталляции

Согласно данным Минкомсвязи [1], всероссийской «народной карты» качества покрытия сетями сотовой связи пользуются около 100 тысяч абонентов, хотя это и небольшое количество по меркам России, но у конкурирующих приложений, данных в среднем вполтину меньше. Естественно в городе Москва наблюдается большая активность, чем в регионах. Это позволяет оценить качество связи в определенном районе более достоверно. Данные карт покрытия, имеющиеся в открытом доступе, предоставленные основными операторами сотовой связи слишком идеализированы. В сравнении с данными от пользователей, показывают более плотное покрытие. За исключением оператора МТС - лидер по данному параметру (на рисунке 5.1 выделен оранжевым цветом) и YOTA - сравнительно «молодая» компания (на рисунке 5.2 голубым цветом выделен более слабый сигнал, синим сильный). Данные других операторов при сопоставлении с картой качества покрытия Минкомсвязи сильно различались, и возможно преувеличены в рекламных целях.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

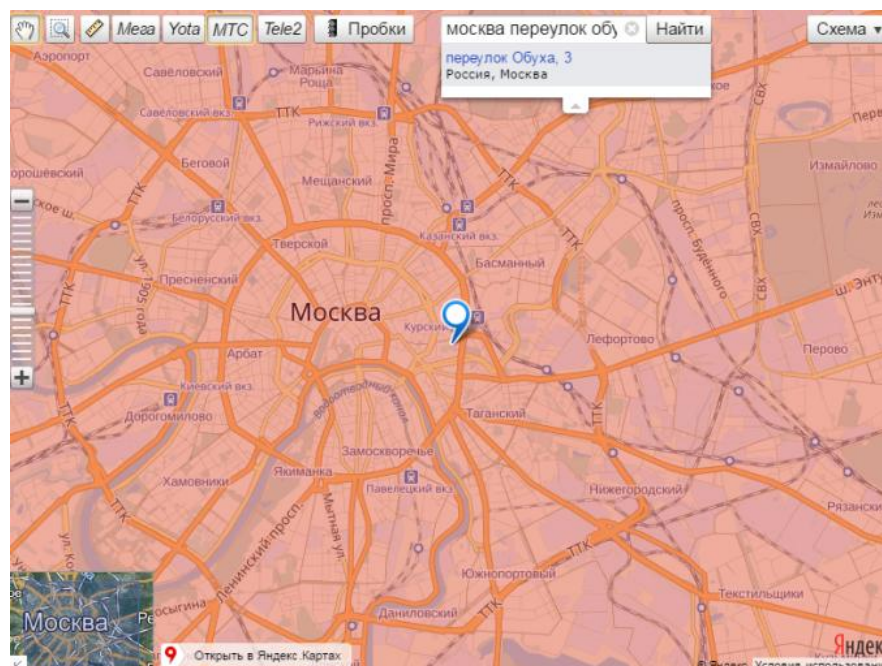


Рисунок 5.1 – Карта качества покрытия сотовой связи от оператора МТС

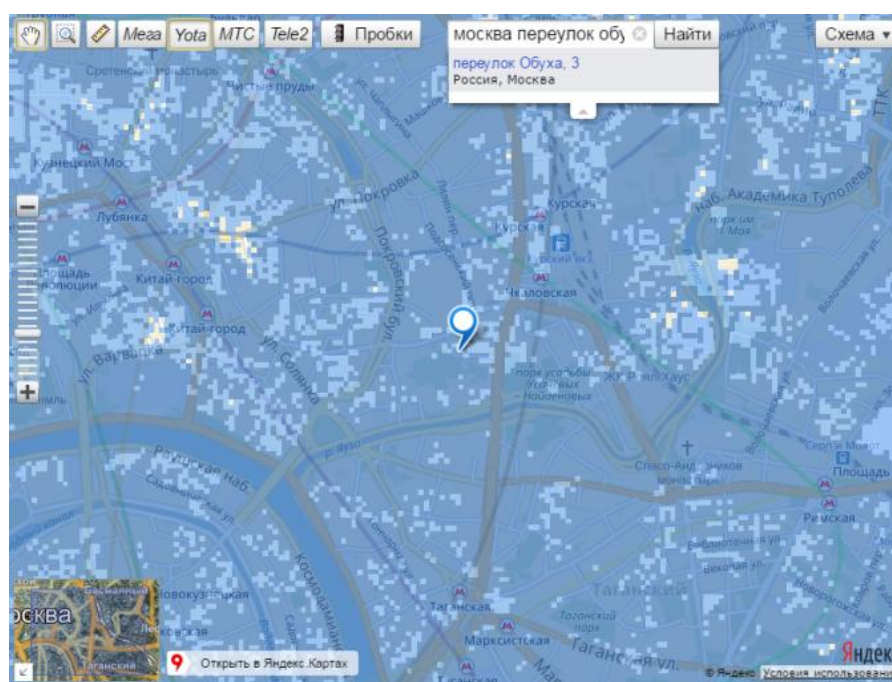


Рисунок 5.2 – Карта качества покрытия сотовой связи от оператора YOTA

Рассмотрим на всероссийской «народной карте» качества покрытия, район Курского вокзала в г. Москва (показан, синей стрелкой на рисунке 5.3), так как он является одним из более оживленных, благодаря постоянному притоку гостей города и туристов.

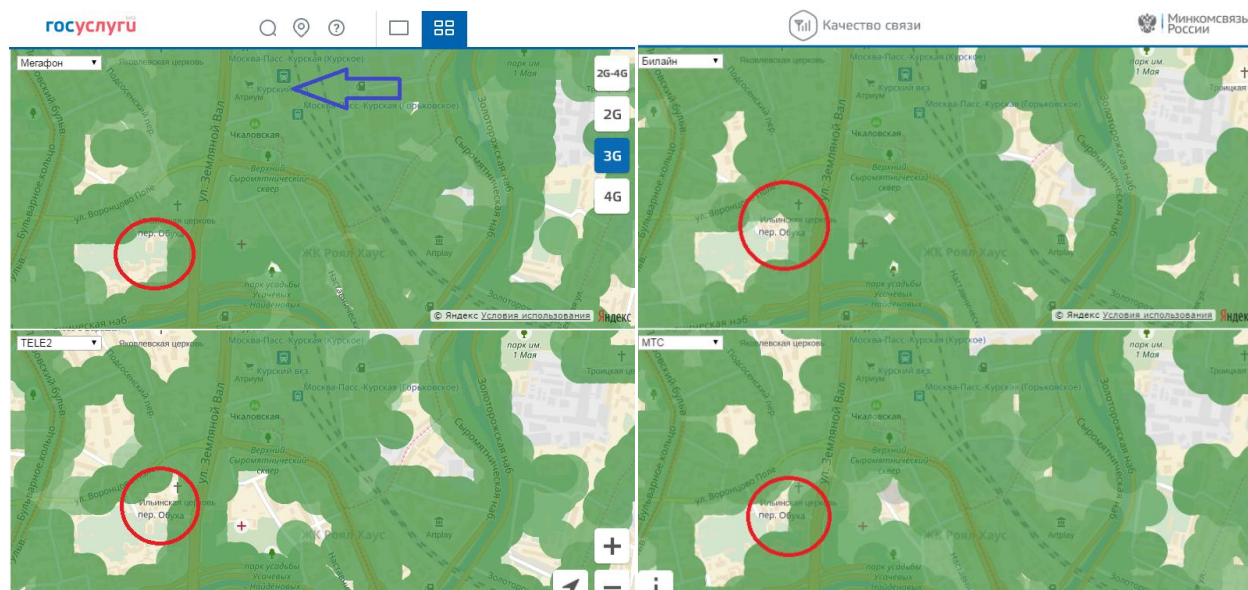


Рисунок 5.3 – Народная карта качества покрытия, район Курского вокзала

На рисунке 5.3 видно, что во всех сетях 3G операторов большой четверки слабый сигнал в районе переулка Обуха (выделен красным кругом). А при более детальном рассмотрении района выберем здание №3 показанное на рисунке 5.4, потому что в нем находится государственное учреждение - Научно-Исследовательский физико-технический институт им. Карпова Л.Я. ФГУП, Ведомственная принадлежность: Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом"; Государственный Научный Центр (Распоряжение Правительства РФ № 2660-р от 24.12.2015). То есть, это режимный объект, без возможности свободного доступа граждан. Это важный момент в вопросе безопасности и вандализации оборудования. А так же в этом здании аренда места для установки БС будет значительно дешевле чем в коммерческих зданиях которые находятся в округе. Расстояние до Курского вокзала

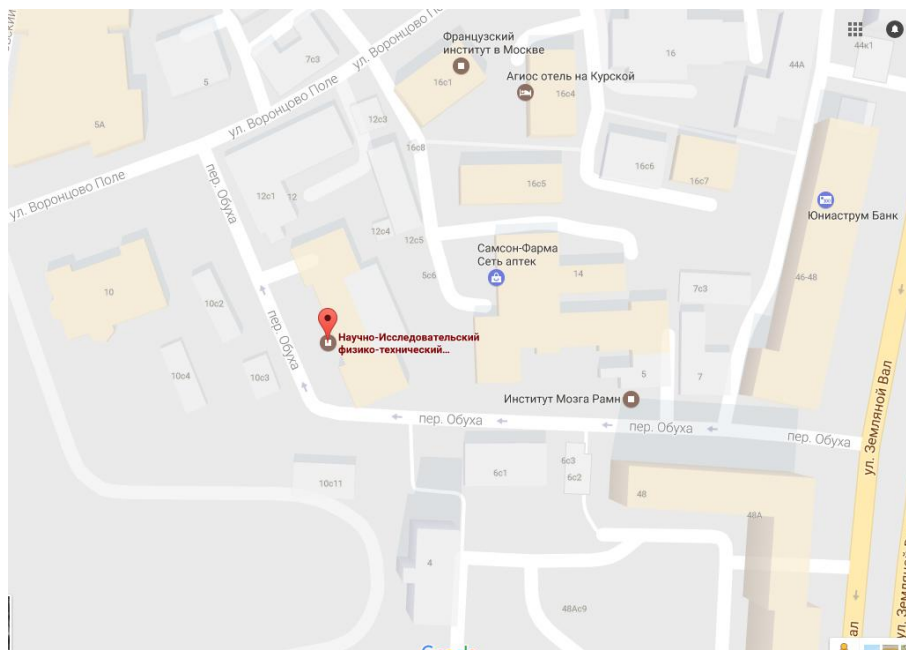


Рисунок 5.4 – Место установки БС (данные предоставлены ресурсом Google-карты)

На рисунке 5.4 показано место установки оборудования. Координаты: ш. -55.752915° , д. -37.652975° , [4]. Данная точка позволит охватить район со слабым 3G покрытием, показанным на рисунке 5.3 и к тому же, находится в 543 м, от Курского вокзала в зоне прямой видимости.

Согласно ситуационному плану [5] (рисунок 5.5), кровля здания выше большинства соседних построек. Ситуационный план изготавливается во время проектно-изыскательных работ в сотрудничестве с Москомархитектуры или с самим арендодателем, если таковой план у него в наличии. Из-за установки на двускатной крыше в качестве аппаратной составляющей базовой станции необходимо взять оборудование легкое в монтаже и обслуживании, которое отвечает современным стандартам защиты и обеспечивает работу в диапазоне UMTS.

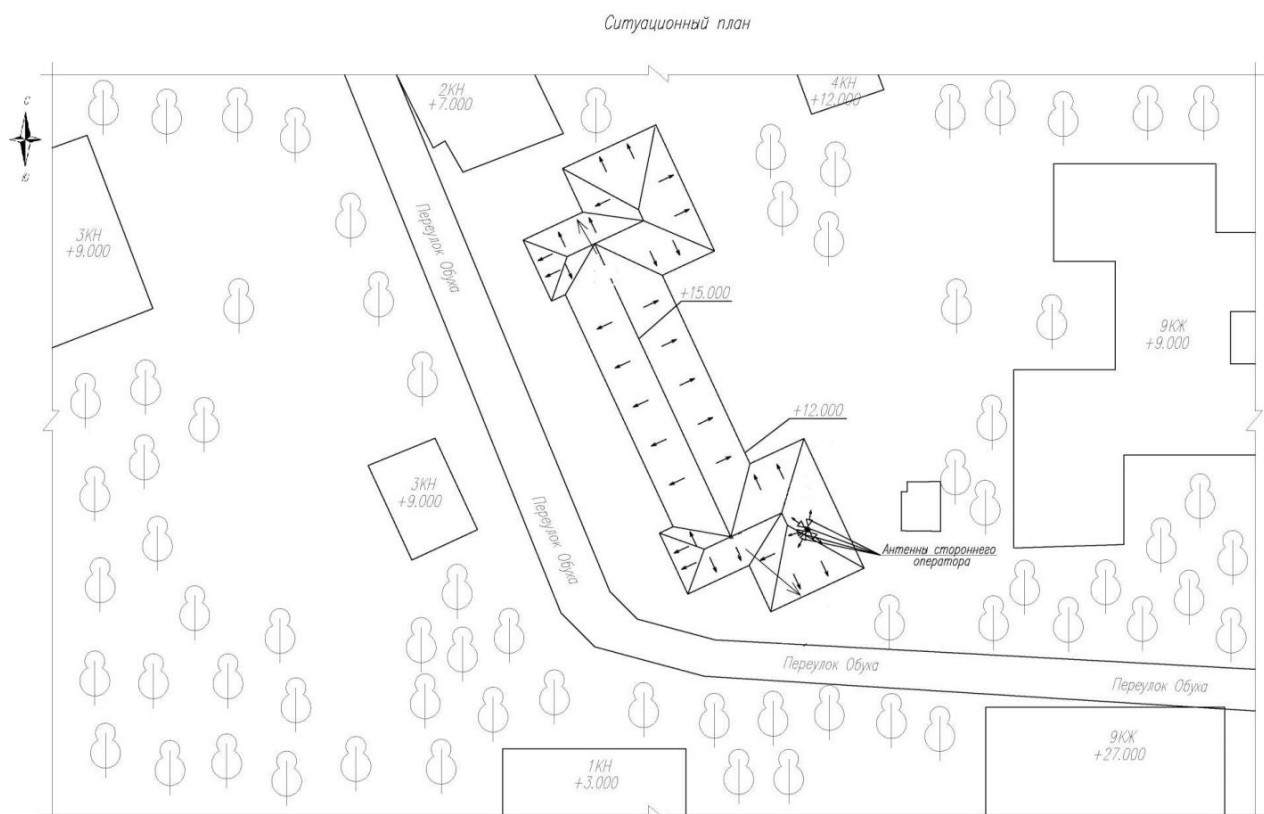


Рисунок 5.5 - Ситуационный план расположения зданий в районе переулка Обуха

По итогу анализа существующих сетей выбран район в округе Курского вокзала наиболее слабо обеспеченный 3G покрытием, его сторону планируется направить один сектор, второй западней в сторону парка усадьбы Усачевых Найденовых, а третий непосредственно в сторону вокзала.

5.2 Состав и основные характеристики сетевого оборудования базовой станции

Для реализации базовой станции в районе переулка Обуха г. Москва был выбран основной поставщик оборудования в лице компании Ericsson [6]:

Была выбрана базовая станция модели RBS 6601, что обусловлено рядом преимуществ:

					Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	31

○ RBS 6601 – это распределённое решение, предназначенное для использования в широком диапазоне приложений как внутри помещений, так и наружного применения.

○ В распределительных базовых станциях, где удалённый радио модуль RRU расположен непосредственно возле антенны, сокращены фидерные потери и появляется возможность использовать те же высокотехнические функциональности сети при меньшей выходной мощности. Таким образом, уменьшается потребляемая мощность, и сокращаются капитальные и операционные расходы. До двенадцати удалённых радио модулей RRU может быть подсоединено к основному модулю MU, чтобы удовлетворить любые требования сайта. Малогабаритные и лёгкие модули легко переносятся на сайт и обеспечивают простую установку в тех местах, где требования к пространству и доступу наиболее критичны.

○ Концепция разработана для поддержки фактически всех технологий в любых комбинациях. Это значит, что менее критичным становится выбор времени для расширения сети и уменьшаются риски в инвестиционных решениях, так как ёмкость основной полосы и удалённых радио модулей может добавляться по мере необходимости для той технологии, которая требуется.

○ Как и другие члены семейства RBS 6000, базовая станция RBS 6601 обеспечивает общее решение транспортной сети, которое поддерживает широкий диапазон технологий. Имеет похожую архитектуру, совмещаемую с другими продуктами семейства RBS 6000. Делится на основной модуль MU (рисунок 5.6) и множество удалённых радио модулей RRU (рисунок 5.7), которые соединяются с MU при помощи оптических кабелей.



Рисунок 5.6 – RBS 6601, основной управляющий модуль (MU)



Рисунок 5.7 – RBS 6601, удалённый радио модуль (RRU)

Управляющий модуль RBS 6601 предназначен для установки внутри помещений (предпочтительно монтировать в 19-дюймовом шкафу). Один модуль цифровой обработки WCDMA (DUW) может быть установлен в один основной модуль RBS 6601.

Некоторые основные характеристики MU RBS 6601 приведены ниже:

- Распределение питания по постоянному току к основным модулям цифровой обработки;
- Управляемая климатическая система, включающая в себя встроенные вентиляторы и управление.

В дополнение к вышесказанному, MU обеспечивает ограниченное количество портов для пользовательских аварий, а также порт для внешнего модуля аварий SAU, внешний вид модуля изображен на рисунке 5.8.



Рисунок 5.8 – Основной модуль RBS 6601 с DUW, внешний вид

Модуль цифровой обработки для WCDMA (DUW) доступен в 3 вариантах DUW 10/20/30, в зависимости от требований к ёмкости.

DUW включает в себя модули основной полосы, управления и коммутации. DUW может управлять различными, зависящими от времени, смешанными трафиками, которые состоят из голосовых коммутируемых данных, пакетно-коммутируемых данных и высокоскоростных данных, таких как высокоскоростной пакетный доступ (HSPA).

Ресурсы основной (немодулированной) полосы объединены в DUW в наборе канальных элементов (CE) и ёмкости высокоскоростных данных и могут быть оптимизированы в соответствии с требованиями оператора для пользовательских типов и наборов сервисов.

Ёмкость основной полосы объединена независимо от секторов и частот. Может быть реализовано два объединения основной полосы (два DUW). В этом случае каждый из DUW помещается в один основной модуль RBS 6601. Два DUW в двух отдельных основных модулях RBS 6601 могут быть сконфигурированы как один модуль базовой станции, например для поддержки работы базовой станции в двух диапазонах.

DUW стабилизирует сигналы синхронизации, извлеченные из транспортной сети или внешнего GPS оборудования, и использует эти сигналы для синхронизации базовой станции.

DUW обеспечивает:

- 100/1000 Base-T Ethernet;
- Транспортный интерфейс канализированный STM-1;
- Четыре IMA совместимые порты E1/T1/J1.

Модуль цифровой обработки (DUW) может быть соединен с радио модулями RRUW или RRUS

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 5.9 – Удалённые радио модули RRUW/RRUS 01 и RRUS 11, внешний вид

Удалённые радио модули RRUW и RRUS (рисунок 5.9) спроектированы для установки в непосредственной близости от антенн и могут монтироваться или на стену, или на трубостойку. До 12 RRUW или RRUS могут быть соединены с одним и тем же основным модулем. RRUW и RRUS поддерживают среднюю выходную мощность 60 Вт, для обеспечения требований большой зоны покрытия и ёмкости. Двух диапазонные конфигурации также поддерживаются путём соединения RRUW и RRUS для различных частотных диапазонов к одному и тому же MU. Другие варианты совместимости для некоторых RRU семейства RBS 6601 представлены Интернет-ресурсе telecom.org [7]. RRUW имеет возможность поддерживать только технологию WCDMA.

RRUS – это решение мультистандартного радио (MSR), что позволяет помимо технологии WCDMA поддерживать также технологии GSM и LTE одним и тем же аппаратным модулем. Стандарт может быть изменён путём переустановки программного обеспечения. Существуют две различные модели радио-модулей RRUS. Модель RRUS 01 означает поддержку одной Tx ветки на RRU, а RRUS 11 означает поддержку двух Tx веток на RRU (MIMO/Tx разнесение). RRUS 11 – это аппаратное средство, подготовленное для запуска двух стандартов в одном модуле одновременно. Стандарты, поддерживаемые в каждом частотном варианте RRUS, зависят от того, какие частоты каждого стандарта определены в 3GPP [8].

RRUW и RRUS содержат большую часть оборудования радио обработки.

Основные составные части RRU следующие:

- Приёмопередатчик (TRX);
- Усилитель передатчика (TX);
- Дуплексирование передатчика/приёмника (TX/RX);
- Фильтрация TX/RX;
- Поддержка коэффициента стоячей волны по напряжению (VSWR);
- Оптический интерфейс;
- Поддержка ASC, TMA и RET регулировку механического угла

наклона антенн, для увеличения гибкости сайта;

- Все соединения находятся внизу RRUW и RRUS.

Линия оптического интерфейса соединяет RRU с MU. Длина между основным модулем RBS 6601 и RRUW или RRUS может быть до 40 км. Модули могут быть соединены друг с другом несколькими способами, в зависимости от структуры сайта. RBS 6601 поддерживает:

1. Соединение RRU типа «Звезда», где каждый RRU соединяется с MU;
2. RRUW и RRUS поддерживают каскадируемые соединения, где только один кабель соединяет MU с одним из RRU. Другие RRU последовательно соединяются друг с другом.

Согласно ситуационному плану, более удобным будет соединение в котором каждый передатчик будет подключен к управляющему модулю (рисунок 5.10), так как длинна фасада позволяет использовать оптическую сборку в умеренных количествах.

						Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	

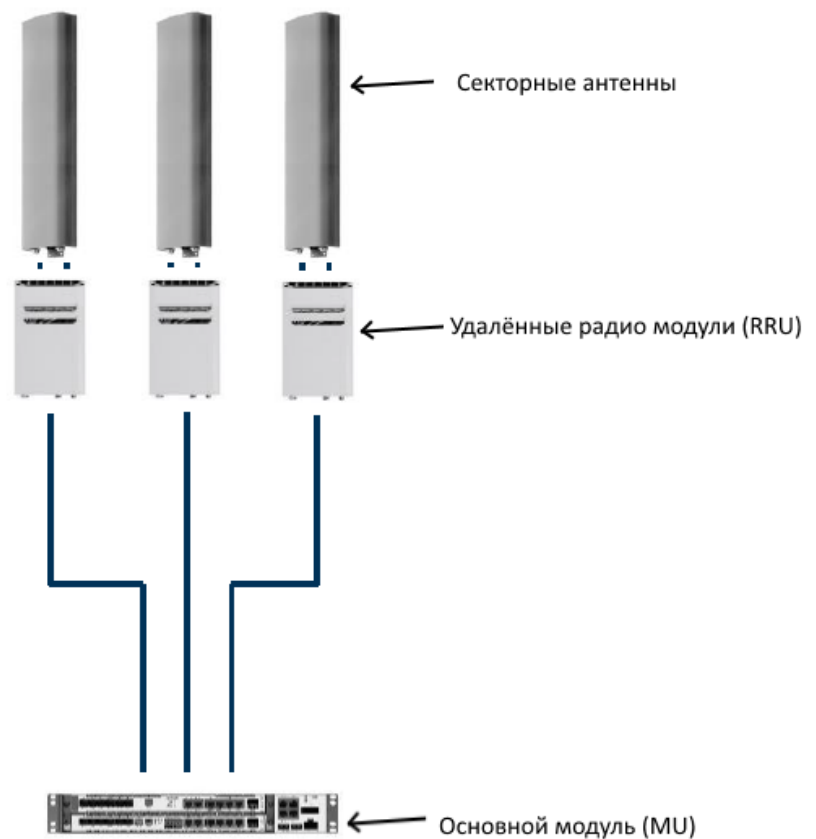


Рисунок 5.10 – RBS 6601 трёхсекторный сайт (соединение RRU типа «Звезда»)

В составе оборудования есть модуль управления авариями SAU. Опциональный модуль управления авариями (SAU) осуществляет мониторинг и управление пользовательского оборудования. SAU может управлять внешними авариями в количестве до 32 и имеет четыре выходных порта управления. А так же базовая станция может быть соединена с модулем GPS, который используется для синхронизации RBS с центром коммутации.

RBS 6601 предполагает широкий спектр сценариев развертывания. Она хорошо подходит для сайтов средней и большой ёмкости, легко монтируется. Использование RBS 6601 позволяет снизить энергопотребление. Блоки, из которых состоит базовая станция, имеют небольшие размеры, что идеально подходит для труднодоступных сайтов или когда установка может вызвать нежелательный уровень беспокойства. Все блоки можно перевезти на лифте

или перенести вручную. Основной модуль может быть установлен в 19-дюймовую стойку в небольшом климатическом шкафу, размещенном под мачтой, а каждый удаленный радио модуль в непосредственной близости к антенне. Проектируемое размещение сетевого оборудования в 19 – дюймовом климатическом шкафу показано на рисунке 5.11.

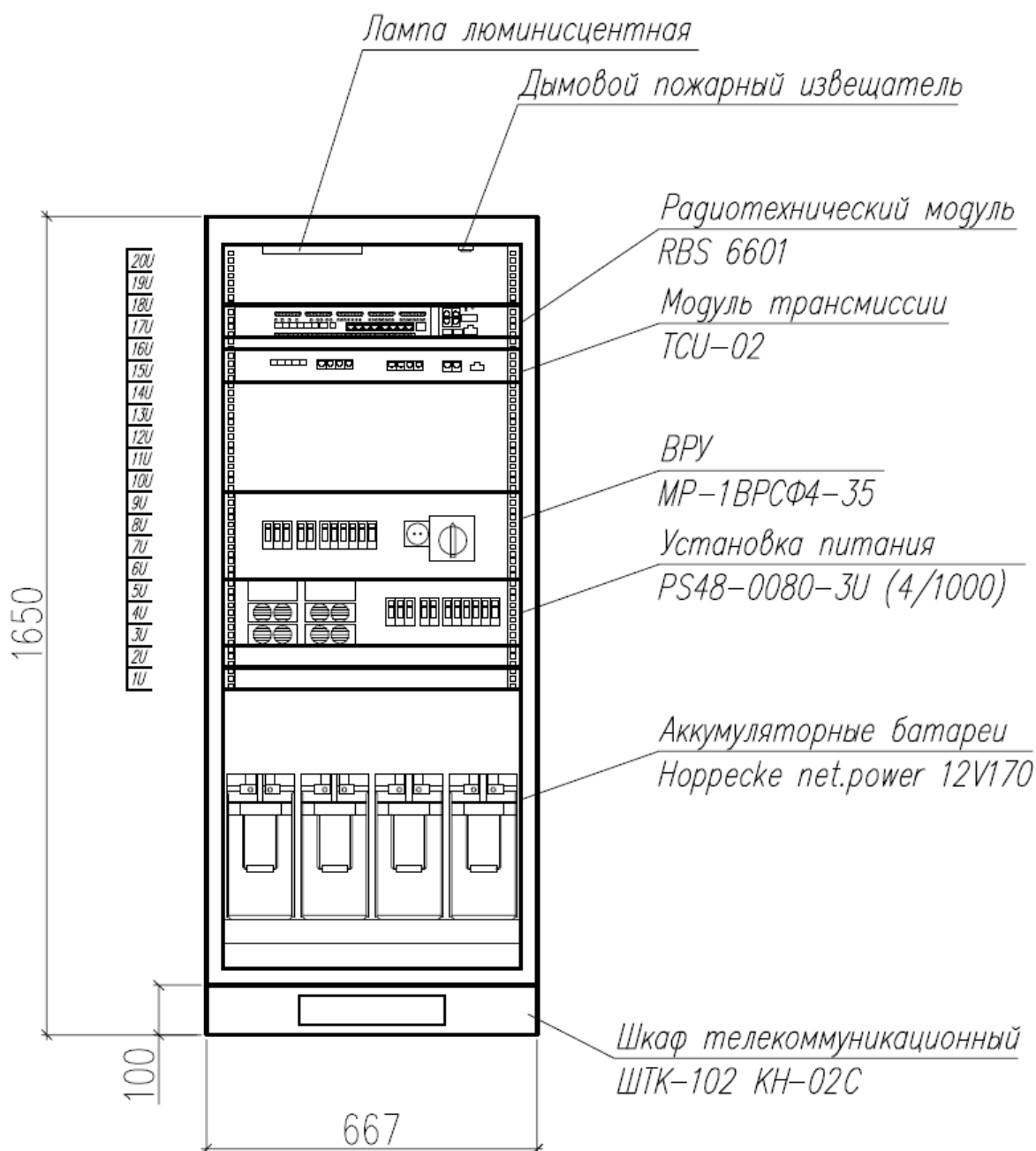


Рисунок 5.11 – Расположение оборудования RBS 6601 в климатическом шкафу

Данная базовая станция помимо прочего отвечает важному для подобной аппаратуры перечню стандартов и требований для радиооборудования:

- Электромагнитная совместимость - базовая станция удовлетворяет требованиям Европейского сообщества по электромагнитной совместимости. Базовая станция маркируется символикой “CE”, чтобы отобразить соответствие правовым требованиям.

- Стандарты одобрения продукта - RBS удовлетворяет требованиям Европейского сообщества касательно радио характеристик. Базовая станция маркируется символикой “CE”, чтобы отобразить соответствие правовым требованиям.

- Сейсмо-устойчивость - основной модуль RBS 6601 спроектирован таким образом, что выдерживает сейсмические нагрузки в соответствии с методами тестирования IEC/EN 60 068-2-57.

- Акустический шум - RRU22 20 Вт, RRUW и RRUS не генерируют акустических шумов.

- Наличие/отсутствие шифровальных средств - оборудование и программное обеспечение базовой станции RBS 6601 технологии WCDMA не содержит шифровальных и криптографических средств.

Рентабельное расширение покрытия и ёмкости БС, уменьшенное энергопотребление, и простота установки делают RBS 6601 идеальным решением для покрытия в городских условиях. А в конфигурации с (MSR) радио-блоком RRUS 11 позволит выполнить переход на 4G сеть с помощью замены версии программного обеспечения. Подобная базовая станция идеально подходит для таких высоко-проходимых мест как торговые центры, спортивные арены, транспортные станции.

По итогу подбора и изучения состава оборудования базовой станции Ericsson RBS 6601, была разработана структурная схема коммутации оборудования (рисунок 5.12).

						Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	

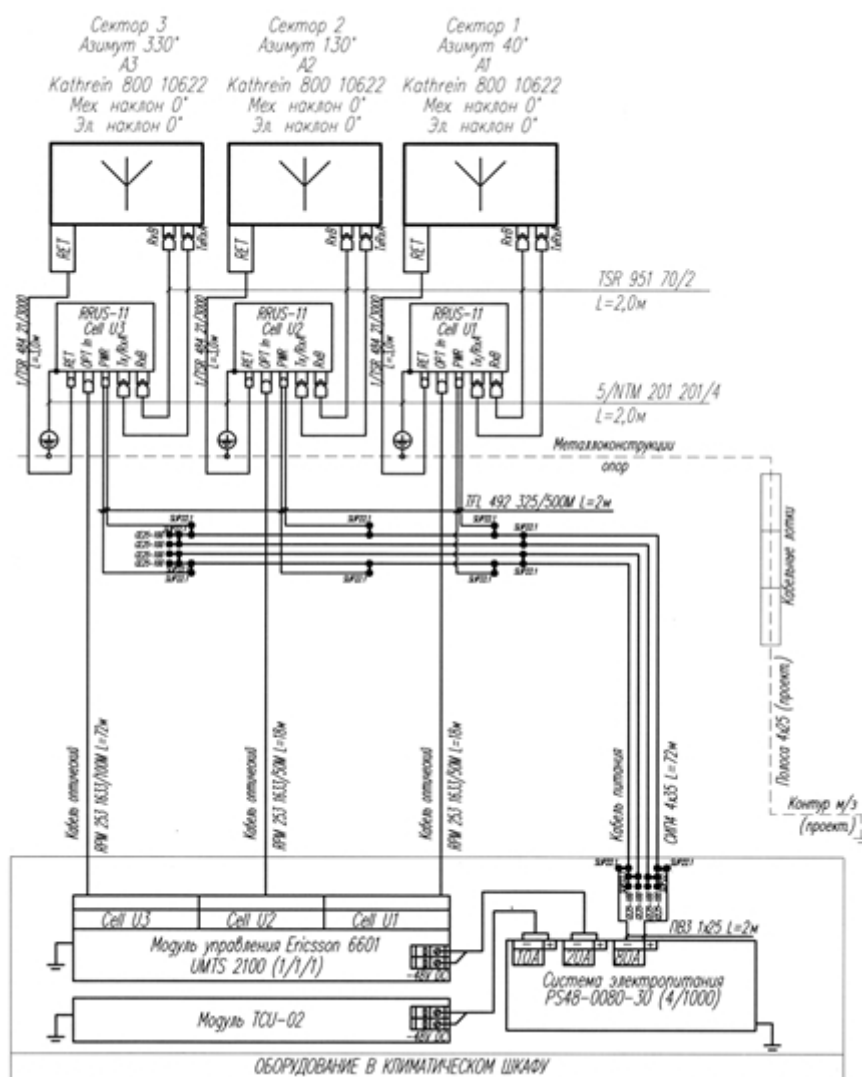


Рисунок 5.12 - Структурная схема коммутации оборудования RBS 6601

5.3 Расчет зоны покрытия для проектируемой базовой станции стандарта IMT2000/UMTS

В системе УКВ радиосвязи с подвижными объектами связь осуществляется между базовой и подвижными объектами радиостанции при непрерывном изменении условий радиосвязи. В связи с чем, точный расчет дальности связи произвести невозможно, приходится исходить из средних значений параметров, влияющих на качество связи.

Дальность действия УКВ радиосвязи зависит от следующих факторов:

- электрических параметров аппаратуры;

- чувствительности приемников;
- мощности передатчиков;
- рабочих частот;
- параметров антенно-фидерных трактов БС и АС;
- высот установки антенн базовой и абонентской станции;
- уровня помех в точке приема;
- рельефа местности;
- закономерностей распространения УКВ радиоволн в условиях пересеченной местности и городской застройки.

Расчеты зоны радио-покрытия БС проведем по методике, приведенной в [9]. В таблице 5.1 сведены основные технические характеристики приемопередающего оборудования, а в таблице 5.2 указаны исходные данные для расчета.

Таблица 5.1 - Технические характеристики приемопередающего оборудования

Наименование	Обозначение, ед. изм.	Характеристика станций	
		Базовая	абонентская
Назначение радиостанции	-	Базовая	абонентская
Тип радиостанции	-	Ericsson RBS 6601	С поддержкой UMTS
Максимальная мощность передатчика (на входе антенного фидера)	P_{max} , Вт	20	0,025
Количество приемо-передатчиков	n_p , шт.	3	-
Количество секторов	n_c , шт.	3	-
Реальная чувствительность приемника	$P_{оп}$, дБм	-128	-103

Таблица 5.2 - Общие характеристики проектируемой сети

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
1	2	3
$P_{прд}$ БС	Мощность передатчика БС, Вт	20
$G_{прд}$ БС	К-т усиления передающей антенны БС, дБ	19
$f_{прд}$ БС	Полоса рабочих частот передачи БС, МГц	2165—2170

Окончание таблицы 5.2

1	2	3
$P_{\text{прм БС}}$	Чувствительность приемника БС, дБ Вт	-128.3
$G_{\text{прм БС}}$	К-т усиления приемной антенны БС, дБ	18
$f_{\text{прм БС}}$	Полоса рабочих частот приема БС, МГц	1975—1980
$P_{\text{прд МС}}$	Мощность передатчика МС, Вт	0,025
$G_{\text{прд МС}}$	К-т усиления передающей антенны МС, дБ	0
$f_{\text{прд МС}}$	Полоса рабочих частот передачи МС, МГц	1975—1980
$P_{\text{прм МС}}$	Чувствительность приемника МС, дБВт	-103
$G_{\text{прм МС}}$	К-т усиления приемной антенны МС, дБ	0
$f_{\text{прм МС}}$	Полоса рабочих частот приема МС, МГц	2165—2170

5.3.1 Расчет бюджета потерь - направление передачи БС – АС

Зона покрытия микро соты определяется максимальной дальностью связи между базовой станцией и абонентской. Дальность связи можно получить путем решения уравнения связи:

$$P_{\text{с.вх.лц}} = P_{\text{изл}} - L - b_T - b_{\text{э}}, \quad (5.1)$$

где $P_{\text{с.вх.лц}}$ – уровень мощности полезного сигнала на входе приемной антенны в дБВт; $P_{\text{изл}}$ – уровень излучаемой мощности передатчика в дБВт; L – затухание сигнала при распространении, дБ; $b_T = 3\text{дБ}$ – дополнительные потери сигнала при соединении с абонентской станцией; $b_{\text{э}} = 8\text{дБ}$ – дополнительные потери сигнала при работе с абонентской станцией в автомобиле (для здания 15 дБ).

Тогда, затухание сигнала при распространении L :

$$L = P_{\text{изл}} - P_{\text{с.вх.лц}} - b_T - b_{\text{э}}, \quad (5.2)$$

Уровень излучаемой мощности передатчика:

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$P_{изл} = P_{пд} - b_{дж} + G_{пд}, \quad (5.3)$$

где $P_{пд} = 10 \cdot \lg P_{пд} + 30 = 10 \cdot \lg 20 + 30 = 43 \text{ дБм}$ – уровень мощности передатчика; $b_{дж}$ - потери в джамперах Tx\Rx, дБ; $b_{дж} = 0,0456 + 0,0456 = 0,091 \text{ дБ}$
 $G_{пд} = 19 \text{ дБ}$ - коэффициент усиления передающей антенны (из технических характеристик).

Стоит обратить внимание, что в данном уравнении не используются потери в фидере антенны передатчика, так как в RBS 6601 предусмотрен оптический интерфейс.

Тогда по формуле (5.3):

$$P_{изл} = 43 - 0,091 + 19 = 61,91 \text{ дБм}$$

Найдем необходимую мощность полезного сигнала абонентской станции ($P_{пс}$) с вероятностью 50%:

$$P_{пс(50\%)} = P_{прм} + \eta_{ф.прм} - G_{оп}, \quad (5.4)$$

где $P_{прм} = -103 \text{ дБм}$ - чувствительность приёмника абонентской станции;
 $\eta_{ф.прм} = 0 \text{ дБ}$ - потери в фидере антенны приемника абонентской станции; $G_{оп} = 0 \text{ дБ}$ - максимальный коэффициент усиления антенны приемника абонентской станции.

$$P_{пс(50\%)} = -103 \text{ дБм}$$

Далее вычислим напряженность поля полезного сигнала ($E_{пс}$) с вероятностью 50 %:

$$E_{ПC(50\%)} = 77.2 + 20 \lg f + P_{ПC(50\%)}, \quad (5.5)$$

где f – средняя частота диапазона вниз БС-АС. ($f=2167,5$ МГц)

$$E_{ПC(50\%)} = 77.2 + 20 \lg 2167,5 - 103 = 40,9 \text{ дБ}$$

Для нахождения необходимого запаса мощности сигнала для его уверенного приема с вероятностью 75 % необходимо воспользоваться формулой (5.6).

$$\Delta_{\sigma} = \eta_{(75\%)} \cdot \sigma, \quad (5.6)$$

где $\eta_{(75\%)} = 0,68$ - параметр логнормального распределения уровней сигнала по местоположению с вероятностью 75%; $\sigma = 10 \text{ дБ}$ - среднеквадратичное отклонение сигнала из-за флуктуации в точке приема.

$$\Delta_{\sigma} = 0,68 \cdot 10 = 6,8$$

Подставим известные значения в формулу (5.7) и найдем необходимую мощность полезного сигнала ($P_{ПC(75\%)}$) на границе зоны обслуживания с вероятностью 75%, дБм:

$$P_{ПC(75\%)} = P_{ПC(50\%)} + \Delta_{\sigma} = -103 + 6,8 = -96,2 \text{ дБм} \quad (5.7)$$

Необходимая напряженность поля полезного сигнала на границе зоны обслуживания с вероятностью 75%, вычисляется по аналогичной формуле:

$$E_{ПC(75\%)} = E_{ПC(50\%)} + \Delta_{\sigma} = 40,9 + 6,8 = 47,7 \text{ дБм} \quad (5.8)$$

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем по формуле (5.9) допустимые основные потери передачи с вероятностью 50%, при нахождении абонентской станции в различных точках приема:

$$L_{\langle 50\% \rangle} = P_{\text{изл}} - P_{\text{ПС}(50\%)} - b_T - b_{\text{э}}, \quad (5.9)$$

где b_T - потери в теле абонента ($b_T = 3\text{дБ}$); $b_{\text{э}}$ - потери на проникновение, дБ:

на улице ($b_{\text{э}} = 0\text{дБ}$)

$$L_{(50\%)} = 61.91 + 103 - 3 - 0 = 161,91\text{дБ}$$

в автомобиле ($b_{\text{э}} = 8\text{дБ}$)

$$L_{(50\%)} = 61.91 + 103 - 3 - 8 = 153,91\text{дБ}$$

в здании ($b_{\text{э}} = 15\text{дБ}$)

$$L_{(50\%)} = 61.91 + 103 - 3 - 15 = 146,91\text{дБ}$$

Рассчитаем по формуле (5.10) допустимые основные потери передачи с вероятностью 75%, при нахождении абонентской станции в различных точках приема:

$$L_{\langle 75\% \rangle} = L_{\langle 50\% \rangle} - \Delta_{\sigma} \quad (5.10)$$

на улице ($b_{\text{э}} = 0 \text{ дБ}$)

$$L_{(75\%)} = 161,91 - 6,8 = 155,11 \text{ дБ}$$

в автомобиле ($b_{\text{э}} = 8 \text{ дБ}$)

$$L_{(75\%)} = 153,91 - 6,8 = 147,11 \text{ дБ}$$

в здании ($b_{\text{э}} = 15 \text{ дБ}$)

$$L_{(50\%)} = 146,91 - 6,8 = 140,11 \text{ дБ}$$

5.3.2 Расчет бюджета потерь - направление передачи АС – БС

$$P_{\text{изл}} = P_{\text{прд}} - b_{\text{ф}} + G_{\text{прд}}, \quad (5.11)$$

где $b_{\text{ф}} = 0 \text{ дБ}$ - потери в фидере антенны АС; $G_{\text{прд}} = 0 \text{ дБм}$ - максимальный КУ антенны АС.

Тогда по формуле (5.11):

$$P_{\text{изл}} = 10 \cdot \lg P_{\text{прд}} + 30 - 0 + 0 = 10 \cdot \lg 0,025 + 30 = 13,98 \text{ дБм}$$

Необходимая мощность полезного сигнала с вероятностью 50%, дБм:

$$P_{\text{ПС}(50\%)} = P_{\text{прм}} + b_{\text{дж}} - G_{\text{прм}}, \quad (5.12)$$

где $P_{ПРМ} = -128,3$ дБм - чувствительность приёмника; $b_{ДЖ} = 0,091$ дБ - потери в джамперах; $G_{ПРМ} = 18$ дБ - коэффициент усиления приемной антенны БС.

$$P_{ПС(50\%)} = -128,3 + 0,091 - 18 = -146,21 \text{ дБм}$$

Необходимая напряженность поля полезного сигнала с вероятностью 50 % находится по формуле (5.5):

$$E_{ПС(50\%)} = 77,2 + 20 \lg f + P_{ПС(50\%)}$$

где f – средняя частота диапазона вверх АС-БС ($f=1977,5$ МГц).

$$E_{ПС(50\%)} = 77,2 + 20 \lg 1977,5 - 146,21 = -3,09 \text{ дБ}$$

Необходимый запас мощности сигнала для его уверенного приема с вероятностью 75 % определяется по формуле (5.6):

$$\Delta_{\sigma} = 0,68 \cdot 10 = 6,8$$

Необходимая мощность полезного сигнала на границе зоны обслуживания с вероятностью 75%, из формулы (5.7):

$$P_{ПС(75\%)} = P_{ПС(50\%)} + \Delta_{\sigma} = -146,21 + 6,8 = -139,41 \text{ дБм}$$

Необходимая напряженность поля полезного сигнала на границе зоны обслуживания с вероятностью 75%, из формулы (5.8):

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$E_{ПС(75\%)} = E_{ПС(50\%)} + \Delta_{\sigma} = -3,9 + 6,8 = 2,9 \text{ дБ}$$

Рассчитаем допустимые основные потери передачи с вероятностью 50%, при нахождении АС в различных точках приема по формуле (5.2):

$$L_{(50\%)} = P_{изл} - P_{ПС(50\%)} - b_T - b_{\text{э}},$$

где b_T - потери в теле абонента, дБ ($b_T = 3 \text{ дБ}$); $b_{\text{э}}$ - потери на проникновение, дБ.

на улице ($b_{\text{э}} = 0 \text{ дБ}$)

$$L_{(50\%)} = 13,98 + 146,21 - 3 - 0 = 157,19 \text{ дБ}$$

в автомобиле ($b_{\text{э}} = 8 \text{ дБ}$)

$$L_{(50\%)} = 13,98 + 146,21 - 3 - 8 = 149,19 \text{ дБ}$$

в здании ($b_{\text{э}} = 15 \text{ дБ}$)

$$L_{(50\%)} = 13,98 + 146,21 - 3 - 15 = 142,19 \text{ дБ}$$

Далее, вычислим допустимые основные потери передачи с вероятностью 75%, при нахождении абонентской станции в различных местах приема по формуле (5.9):

$$L_{(75\%)} = L_{(50\%)} - \Delta_{\sigma}$$

на улице ($b_3 = 0 \text{ дБ}$)

$$L_{(5\%)} = 157,19 - 6,8 = 150,39 \text{ дБ}$$

в автомобиле ($b_3 = 8 \text{ дБ}$)

$$L_{(5\%)} = 149,19 - 6,8 = 142,39 \text{ дБ}$$

в здании ($b_3 = 15 \text{ дБ}$)

$$L_{(5\%)} = 142,19 - 6,8 = 135,39 \text{ дБ}$$

Вычислим мощность принятую базовой станцией от одного абонента находящегося на улице, с допущениями, что АС находится на улице на максимальном расстоянии от БС.

$$P_{АС и з л} = P_{ПС(75\%)} + L_{(75\%)} + A_1 + G_{ПРМ} + b_{ДЖ}, \quad (5.13)$$

где $P_{ПС(75\%)}$ – минимальная необходимая мощность на границе зоны обслуживания с вероятностью 75%, принятая базовой станцией от мобильной станции (дБм);

$L_{(75\%)}$ – допустимые основные потери на трассе с вероятностью 75%, между базовой и мобильными станциями, при их нахождении на улице (дБ); A_1 – допуск на теньевые потери (дБ); $G_{ПРМ}$ – коэффициент усиления (на приёме) антенны базовой станции (дБ); $b_{ДЖ}$ – потери в джамперах базовой станции (дБ).

$$P_{АС и з л} = (-139,41) + 150,39 - 6,2 + 18 - 0,091 = 22,7 \text{ дБм}$$

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.3.3 Расчёт радиуса зоны обслуживания базовой станции

По полученным результатам в предыдущих подразделах проведем расчёт эффективного радиуса зоны обслуживания. Расчеты проведем, используя модель COST231-Хата, которая является модифицированным для сотовой связи вариантом модели Окамура-Хата. Формула для расчета среднего затухания в городе (дБ) записывается в виде:

$$L_{(\text{город})} = 46,3 + 33,9 \lg(f) - 13,82 \lg(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_r)) \cdot \lg(R_0) - a(h_r) + C, \quad (5.14)$$

где $f=2167,5$ МГц - несущая частота; $h_r = 1,5$ м - высота антенны АС; $h_t = 17$ м - высота антенны BTS; $a(h_r)$ - поправочный коэффициент для высоты антенны АС; R_0 - расстояние между BTS и АС, км; $C = 0$ дБ для малых и средних городов; $C = 3$ дБ для больших городов; Поправочный коэффициент $a(h_r)$ для города будет:

$$a(h_r) = 3,2 \lg(11,75 \cdot h_r) - 4,97, \quad (5.15)$$

То есть, для $h_r=1,5$ м:

$$a(h_r) = 3,2 \lg(11,75 \cdot 1,5) - 4,97 = -0,00092$$

Тогда по формуле (5.14):

$$\begin{aligned} L_{(\text{город})} &= 46,3 + 33,9 \lg(2167,5) - 13,82 \lg(17) + (44,9 - 6,55 \lg(17)) \cdot \lg(R_0) + 0,00092 + 3 = \\ &= 145,381 + 36,84 \cdot \lg(R_0) \end{aligned}$$

По полученным результатам запишем выражение (5.16), для определения дальности связи:

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$R_0 = 10^{\frac{L-145,381}{36,84}}, \quad (5.16)$$

Максимальная дальность связи с вероятностью 75% на границе зоны обслуживания R, км:

На улице ($b_э = 0\text{дБ}$)

$$R_0 = 10^{\frac{155,11-145,381}{36,84}} = 1,82\text{км}$$

в автомобиле ($b_э = 8\text{дБ}$)

$$R_0 = 10^{\frac{147,11-145,381}{36,84}} = 1,12\text{км}$$

в здании ($b_э = 15\text{дБ}$)

$$R_0 = 10^{\frac{140,11-145,381}{36,84}} = 0,72\text{км}$$

5.3.4 Построение модели зоны покрытия в программной среде RPS2: RadioPlanningSystem 2

Программа RPS2 предназначена для автоматизированного проектирования беспроводных сетей различной архитектуры, в том числе и сотовых. Возможность редактирования параметров и проверенные временем методики расчета выделяют её из ряда конкурентов.

Для начала необходимо задать требуемые параметры проектируемой сети CDMA (Рисунок 5.13). Расчёт в программной среде будет проводиться для речевой нагрузки, поэтому скорость передачи данных задаётся в пределах 12,2 Кбит/с.

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

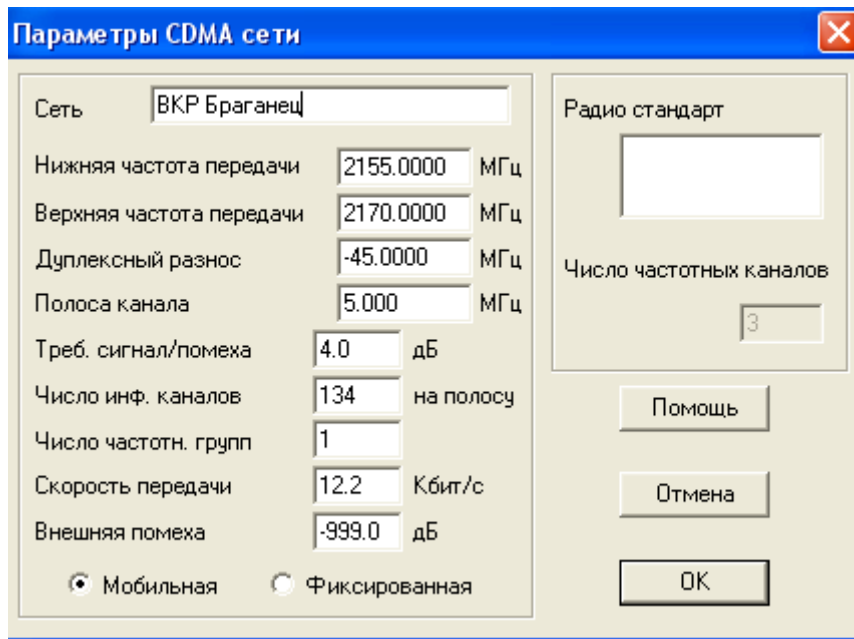


Рисунок 5.13 –Параметры сети в RPS2

Параметры радио-блоков в соответствии с рисунком 5.14 отредактированы по исходными данным расчётов.

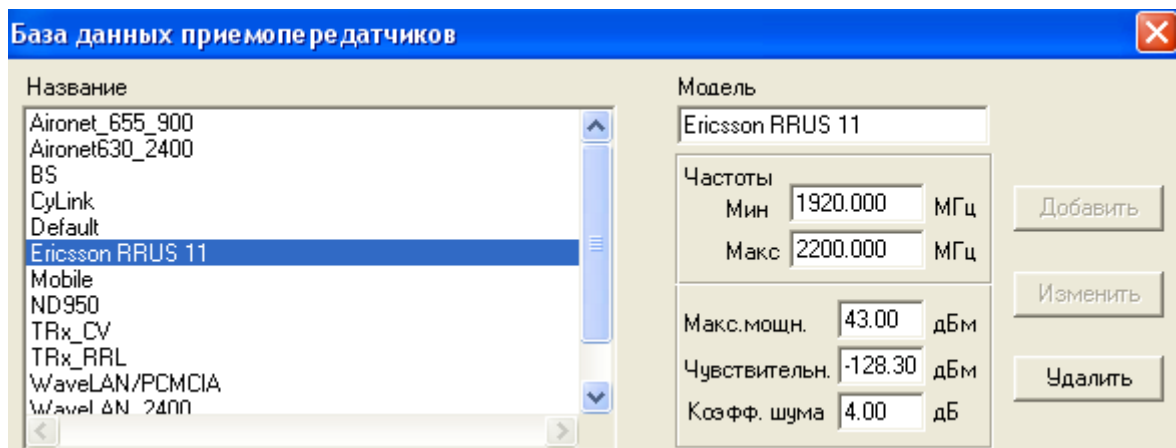


Рисунок 5.14 – Редактирование параметров приемопередатчиков

Параметры секторных антенн отредактированы по данным производителя. Диаграммы направленности, горизонтальная и вертикальная выставлены по характеристикам антенны (рисунок 5.15). Имеется возможность регулировки электронного угла, с отклонением к поверхности земли на 12 градусов. Для данного расчёта принят нулевой угол для трех секторов, чтобы увидеть максимальную зону распространения радиоволн.

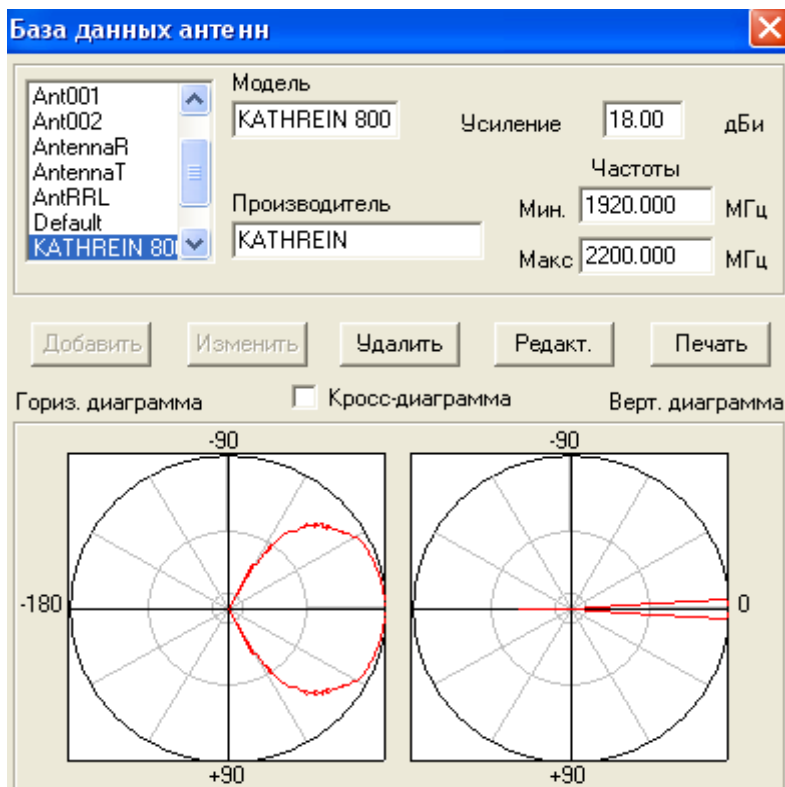


Рисунок 5.15 – Редактирование параметров секторных антенн

После установки точки расположения базовой станции, необходимо задать параметры секторов. Сектора направлены между соседними зданиями с азимутами разницей в 120 градусов, в сторону точек с максимальной проходимостью в районе базовой станции.

Примем допущения, что передатчики и антенны на всех секторах одинаковые. В таком случае эти результаты будут исходными для частотно территориального планирования оператором сети сотовой связи. Вопросы по более точному планированию сети, решаются с помощью оптимизации, которую так же можно смоделировать сначала в программе RPS2, а затем на практике.

При последующем построении графической модели расчета COST231-Хата (рисунок 5.16), сверка данных показала небольшие отличия расчета зоны покрытия с вероятностью 75% от более точных результатов программы, учитывающей параметры данной местности, которые не отражены в расчетах.

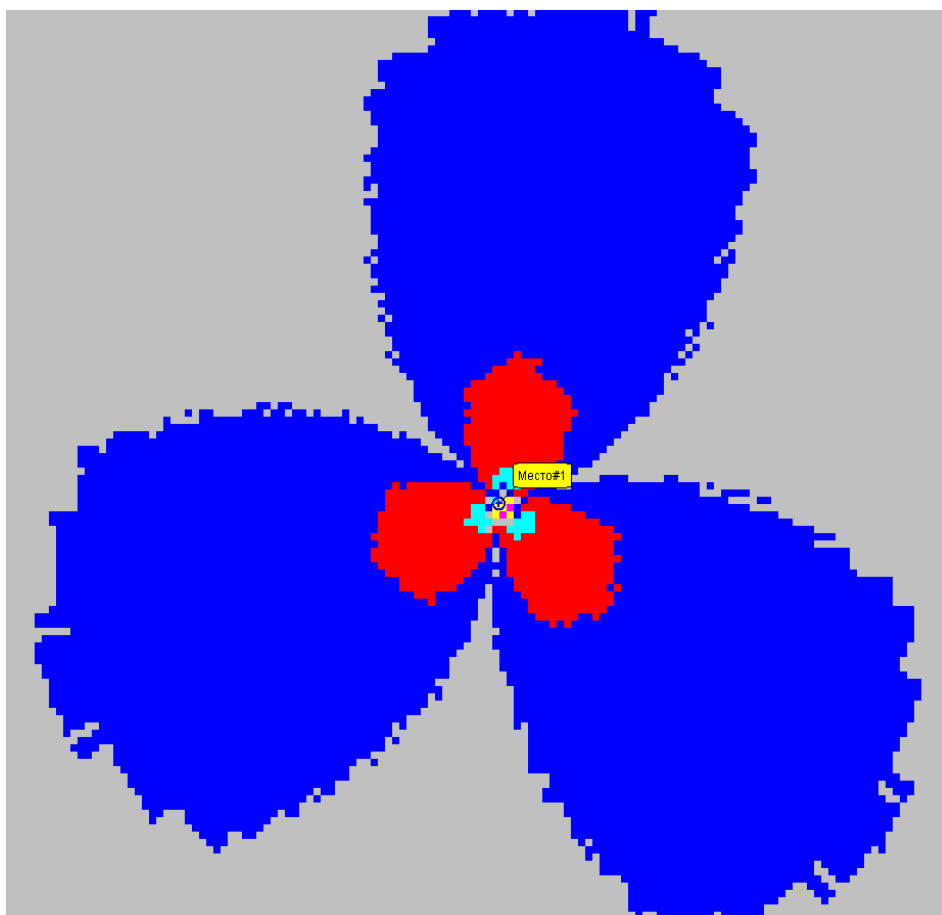


Рисунок 5.16- Графическая модель расчета COST231-Хата

- Красные лепестки диаграммы направленности показывают ожидаемое покрытие в зданиях с потерями 140,1 дБ. В отличие от радиуса с $R_{(75\%)} = 0,72\text{км}$, радиус в программе 1 км
- Синие лепестки диаграммы направленности показывают ожидаемое покрытие на улице с потерями 155,1 дБ. В отличие от радиуса с $R_{(75\%)} = 1,82\text{км}$, радиус в программе 2,5 км
- Зону покрытия при нахождении в автомобиле программа RPS2 не отображает в графическом виде.

Далее для более наглядного планирования построена модель RPS, которая дополнительно учитывает такие параметры как: дифракция, отражение, потери на местности и атмосферные потери. Результат показан на рисунке 5.17.

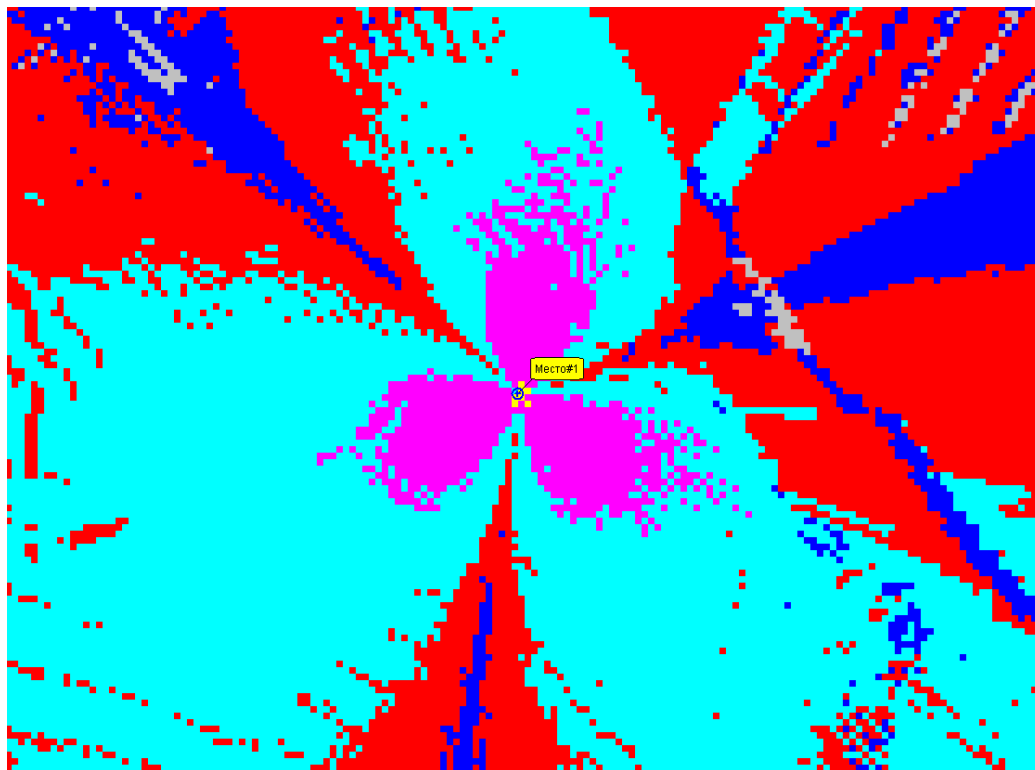


Рисунок 5.17 - Графическая модель расчета RPS

На данной модели, синим цветом, изображен около нулевой уровень сигнала, фиолетовый цвет показывает распространении внутри застройки, голубой цвет зону покрытия на улице, а серый полное отсутствие сигнала. В отличие от графической модели COST231-Хата здесь видно влияние плотности застройки на неоднородность распространения волн. Например, в районе железной дороги синяя полоса, а в местах древесных насаждений, наблюдается отражение сигнала, фиолетового цвета.

По итогам расчета зоны покрытия можно сделать вывод, что место и высота установки проектируемой базовой станции подходит для обеспечения покрытия микро-соты стандарта 3G/UMTS в районе Курского вокзала. План расположения АФУ и азимут секторов изображены на рисунке 5.18

5.4 Максимальная дальность соканальных помех

Соканальными, называются помехи от станций системы, работающих на одних и тех же частотных каналах, но в других ячейках. Минимально возможным для построения системы сотовой связи является 3-элементный кластер, в каждой ячейке которого можно использовать одну треть от полного частотного диапазона, отведенного системе (для UMTS 15МГц/3), то есть три канала. Однако в таком кластере ячейки с одинаковыми полосами часто повторяются, что плохо влияет на сокращение соканальных помех.

Проблема электромагнитной совместимости устраняется путём уменьшения уровней мешающих сигналов. Наиболее эффективные методы уменьшения помех на совпадающих частотах:

- а) применение секционированных антенн;
- б) увеличения расстояния R между взаимодействующими БС.

Однако увеличение R связано с увеличением числа требуемых частотных каналов, что сопровождается снижением частотной эффективности.

Важную роль в решении проблемы интерференции играет правильно разработанный частотно территориальный план. Он должен обеспечить достаточный частотный разнос между соседними каналами в соте и между ближайшими - в соседних сотах. Перспективными являются адаптивные ЧТП, которые позволяют учитывать изменение ситуации во времени, а также гибко предоставлять каналы разного качества каждой абонентской станции.

Рассчитаем защитное отношение сигнал/помеха с вероятностью 75%, на границе зоны обслуживания $A_{гр}$, дБ:

$$A_{zp} = A_0 + \eta_{(75\%)} \cdot \sqrt{2}\sigma = 7 + 0,68 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 = 16,61, \quad (5.17)$$

где $A_0=7$ дБ - защитное отношение сигнал/помеха с вероятностью 50%;
 $\eta_{(75\%)} = 0,68$ - параметр логнормального распределения уровней сигнала по

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

местоположению с вероятностью 75%; $\sigma = 10\text{дБ}$ - среднеквадратичное отклонение сигнала из-за флуктуации в точке приема.

Максимальная дальность соканальных помех на границе зоны обслуживания $R_{n\text{max}}$, км и определяется по формуле (5.18).

$$R_{n\text{max}} = R_{0\text{max}} \cdot 10^{A_{ep}/44,9 - 6,55 \cdot \lg h_{bc}}, \quad (5.18)$$

где $h_{bc} = 17\text{м}$.

на улице

$$R_{n\text{max}} = 1,82 \cdot 10^{16,61/36,84} = 5,1\text{км}$$

в автомобиле

$$R_{n\text{max}} = 1,12 \cdot 10^{16,61/36,84} = 3,16\text{км}$$

в здании

$$R_{n\text{max}} = 0,72 \cdot 10^{16,61/36,84} = 2,03\text{км}$$

По полученным расчетам видно, что размещение проектируемой базовой станции удовлетворяет условию электромагнитной совместимости в том случае если, ближайшая станция с подобными частотными каналами находится на расстоянии не менее 5,1 км от проектируемой станции

5.5 Определение числа каналов трафика

Число каналов трафика определено по методике, описанной в методических указаниях В.Ю. Бабкова «Общие подходы к задачам планирования и оптимизации 2G - 4G сетей подвижной связи» [10].

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При построении сети начального приближения предполагаются следующие допущения:

- плотность абонентского трафика по территории обслуживания постоянна;
- соты одинаковых размеров;
- активность абонентов постоянна от одной соты к другой;
- обеспечивается быстрое управление мощностью передатчиков, как в обратном, так и в прямом направлении связи;
- морфологическая структура местности однотипна;
- параметры радиопередающих абонентских станций одинаковы.

Основное уравнение W-CDMA для текущего отношения сигнал/помеха на символ в обратном канале связи имеет следующий вид:

$$q^2 = \frac{2P_{RX\ min}^{BS} B}{k_b T_0 (K_u - 1) \Delta F + (M_s - 1) P_{RX\ min}^{BS} + \delta M_s P_{RX\ min}^{BS}}. \quad (5.19)$$

Допустимое число каналов трафика определим из оценки шумовых характеристик на входе приемника базовой станции. Сигналы, приходящие на приемник BS, некогерентные, поэтому для каждого абонента сигналы остальных абонентов являются помехами. Кроме помех, в собственной соте, нужно учитывать сигналы абонентов соседних сот. Тогда для обеспечения требуемого качества передачи сигналов в направлении UpLink должно быть выполнено условие:

$$\frac{E_b}{N_0} \leq \frac{SF \cdot P_j}{P_{ui} + \alpha (\sum_{i=1}^n P_i - P_j) + \sum_{l=1}^m P_l'}. \quad (5.20)$$

Где $\frac{E_b}{N_0}$ - требуемое отношение сигнал/помеха для данного вида передачи;
 SF – эквивалентный коэффициент расширения спектра; P_j – мощность сигнала j -го абонента на входе приемника; $P_{ш}$ – мощность шумов, приведенная к входу приемника; $(\sum_{i=1}^n P_i - P_j)$ - суммарная мощность всех $(n-1)$ сигналов абонентов в своей соте на входе приемника; α - коэффициент активности абонентов;
 $\sum_{l=1}^m P_l$ - мощность мешающих сигналов абонентов соседних сот.

Будем считать, что абоненты данной соты имеют одинаковый приоритет. Мощности сигналов всех абонентов на входе приемника БС равны, что обеспечивается быстрым управлением мощности по замкнутой петле (closed loop power control) со скоростью 1500 раз в секунду для каждой подвижной станции в целях обеспечения максимальной пропускной способности на линии вверх. На основе анализа экспериментальных данных книги Бабкова В.Ю. [10] можно считать, что мощность мешающих сигналов абонентов соседних сот составляет 0,5 от мощности мешающих сигналов абонентов в своей соте.

Произведем расчет допустимого числа абонентов в соте для случая, когда основной вид трафика – телефония. В случае ЧНН можно принять коэффициент активности абонентов $\alpha = 0.6$, а требуемое отношение прием сигнал/шум $\frac{E_b}{N_0} = 4$ дБ. Тогда, принимая скорость передачи речи $V_{sing} = 12,2$ кбит/с, $V_{чип} = 3,84$ Мчип/с, находим SF:

$$SF = \frac{V_{чип}}{V_{sing}} = 315.$$

Количество каналов трафика на соту при однородной речевой нагрузке определяется по формуле:

$$M_s = \text{int}\left[2\left(\frac{2SF}{q^2} + 1\right)\frac{1}{1+\alpha}\right], \quad (5.21)$$

Что бы получить приемлемые значения по методикам из книги Бабкова В.Ю. [10], нужно изменять q^2 - сигнал /помеха в пределах от 2.5 до 2.8 дБ, что на 30% ниже ранее принятого оптимального отношения в 4 дБ. Подставим известные нам значения в формулу (5.21) и получим максимальное число каналов речевого трафика равное $M_s = 134$.

5.6 Определение плотности интерференции

Плотность интерференции, создаваемая другими абонентами в данной базовой станции, можно вычислить по формуле (5.22).

$$I_{utr} = P_{АСИЗЛ} + 10 \cdot \log(N_t - 1) + 10 \cdot \log(C_a) - 10 \cdot \log(B_w), \quad (5.22)$$

где I_{utr} – плотность интерференции, создаваемая другими мобильными станциями (дБм/Гц); C_a – коэффициент активности речи. $C_a=0,35$; N_t – число трафик каналов имеющих в одной базовой станции.

$$\begin{aligned} I_{utr} &= 22,7 + 10 \cdot \log(134 - 1) + 10 \cdot \log(0,35) - 10 \cdot \log(5 \cdot 10^6) = \\ &= -27,61 \text{ дБм/Гц} \end{aligned}$$

Плотность интерференции, создаваемая другими абонентами других базовых станций.

$$I_{ctr} = I_{utr} + 10 \cdot \log\left[\frac{1}{f_r} - 1\right], \quad (5.23)$$

где I_{ctr} – плотность интерференции от мобильных станций других базовых станций; f_r – эффективность многократного использования частоты.

$$I_{ctr} = (-27,61) + 10 \cdot \log\left[\frac{1}{0,65} - 1\right] = -30,29 \text{ дБм/Гц}$$

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Плотность интерференции, создаваемая другими абонентами других базовых станций и абонентами проектируемой базовой станции.

$$I_{tr} = 10 \cdot \log[10^{0,1 \cdot I_{utr}} + 10^{0,1 \cdot I_{ctr}}], \quad (5.24)$$

где I_{tr} - Плотность интерференции, создаваемая другими абонентами других базовых станций и данной базовой станцией.

$$I_{tr} = 10 \cdot \log[10^{0,1 \cdot (-27,61)} + 10^{0,1 \cdot (-30,29)}] = -25,23$$

5.7 Определение максимально возможной абонентской нагрузки базовой станции

Далее следуя методике расчета [10], определим пространственные параметры сети с точки зрения максимальной абонентской емкости. Для этого нам понадобятся следующие данные:

- число каналов трафика на сектор (соту) N_{asect} ;
- вероятностью блокировки вызова $A_a = 0.03...0.04$ Эрл;
- активность одного абонентов в ЧНН A_s ;
- число абонентов сети M_s .

Максимально-возможное число абонентов, которое может обслужить сектор базовой станции, при понижении качества связи, найдем из выражения:

$$N_{asect} = \frac{A_s}{A_a}, \quad (5.25)$$

где $A_s = 121,100$ Эрл - продолжительность звонков в час наибольшей нагрузки, (ЧНН) вычисленная при помощи онлайн калькулятора Эрланга В; $A_a = 0.03...0.04$ Эрл - вероятность блокировки вызова – отказ от приема звонков

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

из-за недостаточного количества доступных каналов. Например, 0,04 означает 4 отказа на 100 звонков.

Подставив эти значения в формулу, получим максимально возможное число абонентов на соту базовой станции равно $N_{асект} = 3027$ человек.

Данный метод является больше статистическим, чем инженерным, так как ЧНН возникают всего в 30 днях года, а идеальный показатель $A_a = 0.03...0.04$ Эрл возможен только при самых низких показателях сигнал/помеха, и общем снижении качества связи.

5.8 Определение номинальной ёмкости базовой станции

Стандарт WCDMA обладает особенностями способствующими увеличению ёмкости базовой станции:

1. Учет активности речи. Средняя активность речи абонента составляет 35% от полного времени его разговора. Остальное время занимают паузы, в течение которых абонент слушает собеседника. В WCDMA все абоненты занимают один радиоканал в секторе. Поэтому когда кто-то из них не разговаривает, возникает меньше помех. Таким образом, сокращение активности речи уменьшает взаимные помехи, что позволяет увеличить ёмкость канала до трех раз. CDMA—единственная технология связи, которая использует преимущества этого явления.

2. Увеличение канальной ёмкости благодаря секторизации, то есть путем организации трех радиоканалов в секторах, тем самым, ёмкость увеличивается в три раза по сравнению с теоретической при использовании одного радиоканала. К примеру, в FDMA и TDMA каждая сота делится на секторы только для сокращения влияния интерференционных помех. В результате эффективность транкинга разделенных каналов в каждой соте ухудшается.

3. Имеется возможность подключить дополнительного абонента, без значительного ухудшения качества воспроизведения речи по сравнению с обычным режимом. Допустим, если в соте 30 каналов и добавляется еще один,

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

то разница в отношении несущая/интерференция всего $10\log(30 + 1) / 30 = 0.5\text{дБ}$.

4. Большим преимуществом стандарта WCDMA перед остальными системами является возможность многократного использования полного спектра всех сот с возможностью автоматического перераспределения нагрузки, по мере передвижений абонентов. Когда количество абонентов равно N , базовая станция принимает сигнал состоящий из необходимого сигнала с мощностью C и $N-1$ интерферирующих сигналов также с мощностью C . Таким образом отношение несущая к интерференции может быть выражено как:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{(N-1)C} = \frac{1}{N-1}, \quad (5.26)$$

где C – уровень мощности требуемого сигнала; I – уровень мощности интерференции.

Из(5.26)можно определить:

$$N = \frac{1}{C/I} + 1 \quad (5.27)$$

В отличие от систем TDMA и FDMA, в системе WCDMA большую важность играет отношение E_b/N_0 чем отношение C/I .

Допустим что:

R – скорость передачи данных (в нашем случае 12200 бит/с);

W – ширина канала (5MHz);

Отношение между C/I и E_b/N_0 может быть выражено как:

$$\frac{C}{I} = \frac{R \cdot E_b}{W \cdot (N_b + I_{tr})} \quad (5.28)$$

Перемножая выражения (5.27) и (5.28), получаем:

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$N = \frac{W(N_0 + I_{tr})}{E_b \cdot R} + 1 \quad (5.29)$$

Наименьшая величина необходимая для нормальной работы системы, для передачи цифрового голоса подразумевает BER (Коэффициент Битовой Ошибки) равный 10^{-3} или меньше. Выражение (5.29) определяет максимальное количество абонентов в сети WCDMA при оптимальном качестве связи, с достаточным для этого показателем E_b/N_0 .

$$N = \frac{W(N_0 + I_{tr})}{E_b \cdot R} \cdot \frac{1}{VAF} + 1 \quad (5.30)$$

Если учесть повторное использование частоты формула (5.30) примет вид:

$$N = \frac{W(N_0 + I_{tr})}{E_b \cdot R} \cdot \frac{F}{VAF} + 1 \quad (5.31)$$

В 3-х секторной соте, присутствует частичное взаимное перекрытие основных лепестков диаграммы направленности секторных антенн, действующее значение, которого составляет около 85% от своего максимума. То есть: $0.85 \cdot 3 = 2.55$ – коэффициент секторизации. С учетом секторизации получим конечную формулу для расчета ёмкости одной соты:

$$N = \left(\frac{W(N_0 + I_{tr})}{E_b \cdot R} \cdot \frac{F}{VAF} + 1 \right) \cdot G, \quad (5.32)$$

где $N_0 = -32,075$ - плотность шума в приемнике БС, при $\frac{E_b}{N_0} = 4$ дБ;
 $F=0.65$ - эффективность многократного использования частоты; $VAF=0.35$ – средняя активность речи абонента; G – коэффициент секторизации, для 120° секторизации $G=2.55$.

Подставим в формулу (5.32) данные полученные в исследовании соединения АС-БС.

$$N = \left[\frac{5 \cdot 10^6((-32,075) + (-25,23))}{(-128,3) \cdot 12200} \cdot \frac{0,65}{0,35} + 1 \right] \cdot 2,55 \approx 869$$

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что ёмкость проектируемой базовой станции в час наибольшей нагрузки возрастает более чем в 3 раза, «жертвует» понижением качества связи на 30%, а при средней речевой активности и сохранении оптимального соотношения сигнал/помеха количество абонентов составляет 869 человек.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6 ОХРАНА ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА

6.1 Требования к заземлению, молниезащите

Для базовых станций предусматривается защитное заземление в соответствии с требованиями ПУЭ (глава 1 - 7). Все металлические нетоковедущие части оборудования аппаратной должны иметь надежное заземление. Проектирование заземляющих устройств электрооборудования аппаратных базовых станций выполняется в соответствии с требованиями ПУЭ, ГОСТ 12.1.030 и ВСН 332.

Конструктивно заземление выполняется в соответствии с требованиями «Инструкции по устройству заземления и молниезащите» (концерн «Электромонтаж»[10],[12]). В данной инструкции предусмотрено использование сварных, болтовых, клепочных соединений, а также соединений с помощью хомутов.

Для защитного заземления металлических частей технологического оборудования, нормально не находящегося под напряжением и получающего питание переменным током, во избежание возникновения помех необходимо прокладывать заземляющий проводник от точки подключения питающего кабеля по радиальной схеме. Не следует использовать замкнутый контур защитного заземления.

В качестве молниезащитного заземления в первую очередь должны использоваться существующие заземляющие устройства. Не допускается использование направляющих лифта в качестве заземляющих проводников.

К молниезащитному заземлению должны быть присоединены лотки и другие металлоконструкции, по которым прокладываются кабели.

Для защиты от наведения и заноса высокого потенциала по кабелям питания, которые прокладываются от системы электропитания до радиопередатчиков, необходимо обеспечить электрический контакт экрана кабелей с металлическими конструкциями опоры и кабельного моста (при его

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

наличии) в местах ввода в телекоммуникационный шкаф и в местах подключения к антенне на опоре.

Телекоммуникационный шкаф, модуль управления, радиопередатчики, система распределения электропитания и прочее оборудование БС должны быть соединены с существующим или проектируемым контуром заземления. Все болтовые соединения необходимо покрывать антикоррозионной смазкой. Присоединение необходимо выполнять оконцованным наконечниками кабелем ПВЗ сечением не менее 16 кв.мм.

Антенные опоры с молниеприемниками, устанавливаемые на крышах зданий, оборудованных молниезащитой в соответствии с РД 34.21.122, должны быть (не менее, чем в двух местах) электрически соединены с устройством молниезащиты, а при его отсутствии с проектируемым собственным контуром заземления. Молниезащита выполняется в соответствии с требованиями РД 34.21.122 как для объектов III категории. Не следует оборудовать устройством молниезащиты антенные опоры, которые попадают в зону молниезащиты другого сооружения (высотного здания, дымовой трубы и т. п.). Антенные опоры, устанавливаемые на зданиях, имеющих контур молниезащиты разного назначения, должны быть электрически соединены с контуром заземления здания.

В соответствии этим требованиям был выполнен чертёж схемы заземления и молниезащиты (рисунок 5.19).

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

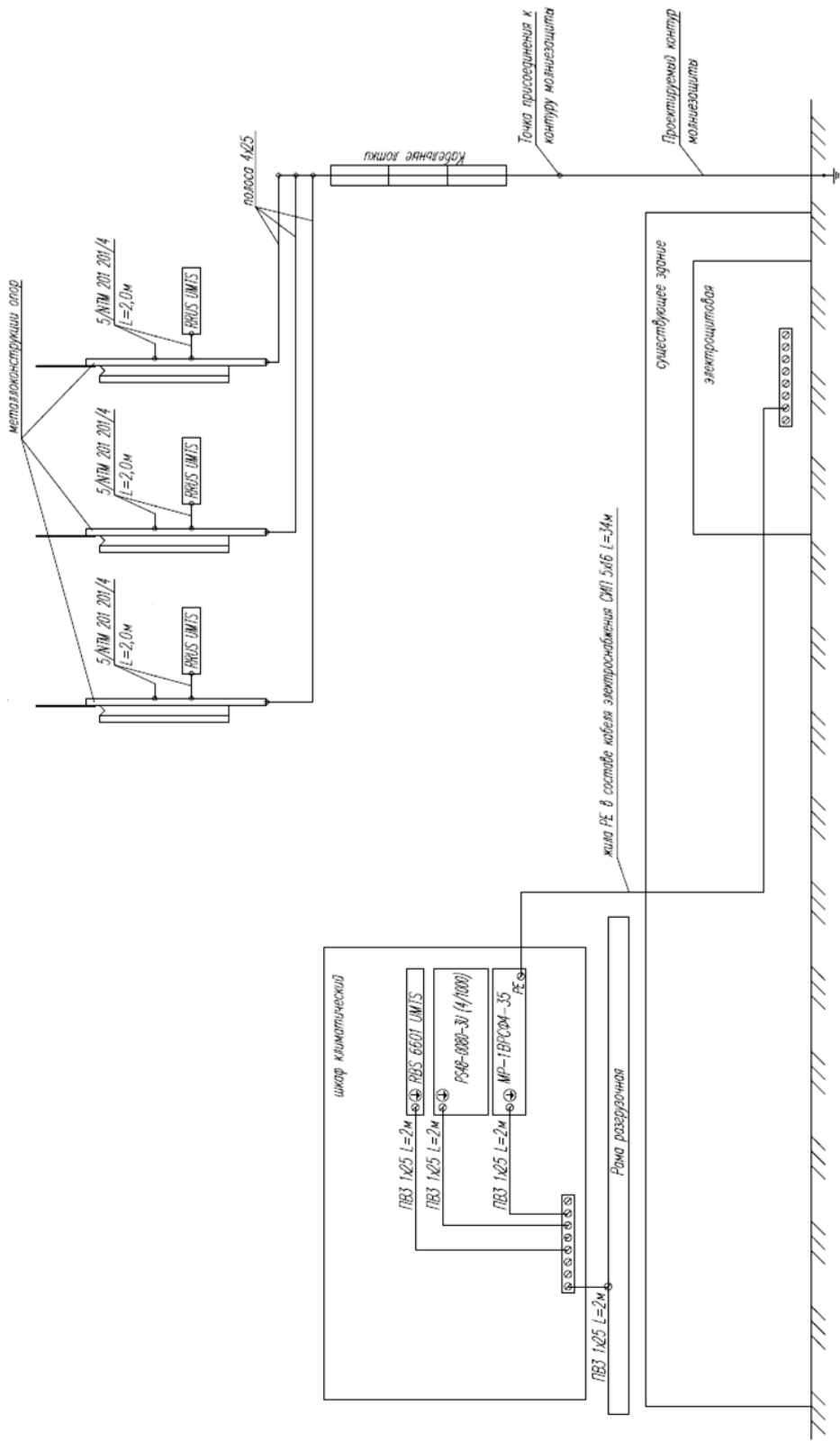


Рисунок 5.19 – Схема заземления и молниезащиты

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

11070006.11.03.02.586.ПЗВКР

На схеме рисунка 5.19 отражено:

- заземление проектируемого оборудования БС на шину климатического шкафа проводом ПВЗ 16 кв.мм. и оборудования распределения электропитания проводом ПВЗ 25 кв.мм.

- Соединение в единый контур (полосой 4x25) металлоконструкции антенных опор, рамы установочной, кабельных лотков и присоединение к проектируемой молниезащитной системе здания при помощи сварки.

- Заземление передатчиков RRUS выполнено на металлоконструкции проектируемых антенных опор проводом 5/NTM 201/4 длиной 2 м (поставляется в комплекте с RRUS).

6.2 Требования к электропитанию

Для защиты питающих кабелей от токов коротких замыканий и перегрузок применяются автоматические выключатели и предохранители.

Решения по обеспечению надежности электроснабжения должны соответствовать требованиям главы 1.2 ПУЭ в зависимости от категории технологических электроприемников, указанных в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Рекомендации по выбору ЭПУ для базовой станции

Технологические электро-приемники комплексов подвижной связи	Категория технологических электро-приемников по надежности электроснабжения	Необходимое количество независимых источников питания по ПУЭ	Кол-во источников питания от электрических сетей энергосистемы	Кол-во групп АКБ	Время разряда одной группы в ЧНН (час)
Контроллер/ Транскодер	I категория	2	2	2	1,0
Базовая станция	II категория	2	2	1	2,0
Базовая станция	III категория	1	1	1	4,0

Примечания:

1. Требования по обеспечению надежности электроснабжения устанавливаются согласно заданию на проектирование в пределах норм, определенных в настоящей таблице.

2. В I категории при наличии в составе ЭПУ установок АБП, перекрывающих время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады, допускается выполнять электроснабжение как для потребителя II категории.

3. При размещении стационарных комплексов подвижной связи на объектах связи (АТС, РРС и др.), получающих питание от тех же источников переменного тока, расчетное время разряда аккумуляторной батареи должно быть равно времени, принятому для аппаратуры объекта.

4. Требование к надежности электроснабжения электроприемников базовых станций следует, в соответствии с РД 34.20.185 «Инструкцией по проектированию городских электросетей», относить к ближайшему вводному распределительному устройству, к которому подключены электроприемники.

5. При установке оборудования базовых станций вместе с аппаратурой, которая требует категорию электропитания выше, чем указано в позиции 2, 3, электропитание базовой станции принимается по более высокой категории.

В случае установки оборудования контейнерной базовой станции в месте, где отсутствуют условия обеспечения её электроснабжением соответствующей категории, меры по повышению надежности электроснабжения определяются из технико-экономических соображений. Возможно использование аккумуляторных батарей большей ёмкости, передвижного дизель-генератора.

При установке на базовых станциях аппаратуры РРЛ (в том числе промежуточных) время их работы при питании от автономного источника электроэнергии должно приниматься из условия времени восстановления источника переменного тока или времени приезда бригады обслуживания с

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

передвижной ДЭС либо переносной аккумуляторной батареей, но не менее 10 часов.

При расчете ёмкости АКБ и выборе количества групп в батареях следует руководствоваться таблицей (6.1) с учетом примечаний к этой таблице. Ёмкость аккумуляторных батарей для указанных стационарных комплексов СПС может быть предусмотрена большей, по обоснованному требованию задания на проектирование.

На базовых станциях рекомендуется использовать герметичные необслуживаемые аккумуляторные батареи.

Данные аккумуляторы могут устанавливаться в технологическом помещении в общем штативе установки бесперебойного питания или в предусмотренной нише климатического шкафа при достаточной вентиляции, рассчитанной в соответствии с рекомендациями, приведенными в технической документации фирмы-изготовителя, и требованиями эксплуатации. При этом категория технологических помещений в отношении взрыва- и пожароопасности не изменяется.

Токораспределительные сети постоянного и переменного тока для различных стационарных комплексов подвижной связи должны выполняться в соответствии с нормами и требованиями ВСН 332, разделы 6 и 7, ГОСТ Р 50571, а также с учетом дополнительных требований для конкретного типа технологического оборудования.

Питание нагрузок I категории с шин первой категории допускается выполнять по одному фидеру.

Питающая сеть переменного тока может быть 4-х или 5-ти проводной. Сечение нулевого защитного проводника должно быть не меньше сечения фазного проводника.

Разделение нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников рекомендуется проводить непосредственно у источника питания.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для монтажа оборудования базовых станций типы кабелей и проводов следует выбирать в зависимости от назначения проводки линейной, питающей, сигнальной и высокочастотной.

Для питающей проводки применяются медные шины, провода и кабели. Силовая и осветительная сеть аппаратной базовой станции выполняется проводами и кабелями, не распространяющими горение, например, с оболочкой «НГ».

Для низкочастотной проводки должны применяться монтажные провода и кабели, при этом кабели для сигнальных частот должны быть экранированные с заземлением их экранов.

Для защиты питающих и распределительных сетей от токов короткого замыкания и перегрузок предусматриваются установки питания с автоматами, имеющими тепловую и электромагнитную защиту.

Состав оборудования подобранного в соответствие с вышеуказанными нормами указан в таблице 7.1 технико - экономического обоснования проекта. А также на рисунке 5.18 показано расположение оборудования в климатическом шкафу.

6.3 Требования по безопасности и производственная санитария

Мероприятия по технике безопасности на базовых станциях предусматриваются в соответствии с [14], [15].

Требования охраны труда, промсанитарии и техники безопасности в помещениях базовых станций обеспечиваются следующими мероприятиями:

- размещением оборудования в аппаратной с обеспечением свободного доступа к оборудованию при монтаже и эксплуатации;
- специальной обработкой стен и потолков, изготовлением полов из материалов, отвечающих требованиям санитарно-гигиенических условий труда;
- ограждением токоведущих частей, находящихся на доступной для обслуживающего персонала высоте (применение закрытых шкафов, щитов);

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- предупредительными мерами по защите обслуживающего персонала от влияния высокочастотного излучения (конструкция оборудования должна обеспечивать уровень электромагнитного излучения не выше допустимой санитарной нормы);
- применением для проведения ремонтных и профилактических работ пониженного напряжения 42 В для ручного инструмента;
- применением индивидуальных средств защиты: диэлектрических ковриков, резиновых бот, перчаток, радиозащитных очков.

Все работы с антеннами базовых станций проводятся при выключенных передатчиках, при этом должны быть вывешены предупредительные плакаты.

Конструкции антенных опор должны обеспечивать безопасное обслуживание антенн, фидеров, ламп светоограждения в соответствии с требованиями ППБ.

В помещениях уровень электромагнитного поля (ЭМП) не должен превышать предельно допустимую напряженность ЭМП в соответствии с санитарными правилами и нормами.

Осмотр и профилактический ремонт антенно-мачтовых сооружений необходимо производить с учетом электромагнитной обстановки на действующем радио-объекте.

Для защиты от возможного падения льда с антенных сооружений при гололеде необходимо определить опасную зону, граница которой отстоит от центра опоры на 1/3 ее высоты. На рисунке 5.18 изображен план расположения АФУ. Крайние точки антенных опор на высоте 17.5 метров и 15 метров, следовательно, опасная зона составляет 5.8 и 5 метров соответственно. Опасная зона, входит в техническую территорию арендуемого сооружения, защита проходов и проездов, находящихся в этой зоне заранее предусмотрена арендодателем. Подбранное оборудование соответствует нормам ЭМП.

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

6.4 Требования по охране окружающей среды

Расчет санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки выполняется в соответствии с «Санитарными правилами и нормами на электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)» СанПиН 2.2.4.2.18.055, Госкомсанэпиднадзора России, Москва, с учетом действующих на территории региона внутренних санитарных норм и правил, а также:

- методическими указаниями МУК 4.3.045 «Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения средств телевидения и ЧМ-радиовещания»;
- методическими указаниями МУК 4.3.046 «Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной подвижной радиосвязи ОВЧ и УВЧ диапазонов»;
- методическими указаниями МУК 4.3.680 «Определение плотности потока мощности электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц - 30 ГГц».

В данной ВКР предлагается к реализации базовая станция, работающая в стандарте IMT-UMTS, который имеет важные плюсы в вопросе экологической безопасности. Количество базовых станций на местности требуется существенно меньше, чем базовых станций работающих в более высоких диапазонах. Непосредственно мобильный телефон является источником электромагнитного излучения, которое может негативно влиять на здоровье человека. Мощность современных телефонов, стандарта UMTS/WCDMA от 2 до 15 раз ниже, чем у телефонов GSM 900/1800, что сокращает риски негативного воздействия электромагнитных волн.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

В данной выпускной квалификационной работе для выявления срока рентабельности проекта базовой станции, необходимо провести расчет технико-экономических показателей.

7.1 Расчет капиталовложений

Содержание и тема проекта предусматривает, что все затраты по финансированию согласования ввода в эксплуатацию и обслуживанию базовой станции покрываются за счет собственных средств оператора сотовой связи. У базовой станции «Ericsson RBS 6601» 3 года гарантийного обслуживания, поэтому в дальнейшем затраты на возможный ремонт за этот период тоже не учитываются.

В г. Москва диапазон стандарта 3G/UMTS200 в данный момент поделён между операторами большой четвёрки, поэтому плата за пользование радиочастотным спектром рассчитываться не будет. Данная работа является предложением расширения сети в зоне с большой проходимостью и автомобильным трафиком. ВКР так же раскрывает тему рентабельности внедрения мультистандартного оборудования, требующего минимальные затраты на дальнейшее расширение или переход на диапазоны четвёртого поколения.

Введение базовой станции в эксплуатацию и капитальные вложения складываются из следующих составляющих:

- стоимость оборудования;
- стоимость строительно-монтажных работ (СМР);
- установка и пуск-настройка оборудования;
- транспортные расходы.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

БС является лишь одним сегментом сети сотовой связи, поэтому затраты на прокладку волоконно-оптических линий связи слишком малы, и входят в аппаратную составляющую станции.

Стоимость установки и настройки оборудования рассчитывается в процентах от итога стоимости сетевого оборудования. Стоимость СМР дополнительного оборудования рассчитывается в процентах от итога стоимости дополнительного оборудования. Интервал стоимости СМР определяется в зависимости от сложности работ (15 – 30%), и рассчитывается в процентах от итога стоимости дополнительного оборудования. Тара и упаковка составляют 0,5%, заготовительно-складские расходы – 1% от стоимости оборудования.

Доставка импортного и отечественного сетевого оборудования не учитывается, так как по всем наименованиям входит в стоимость указанную реализующей его компанией. Расходы на тару и упаковку, тоже включены в стоимость комплекта поставки сетевого оборудования. Транспортные расходы касаются только доставки со склада, так как в пределах МКАД она составляет всего 1500 р. на оборудование целой БС. Поэтому $K_{тр}$ – транспортные расходы можно уменьшить до 1% от итоговой стоимости дополнительного оборудования, а $K_{т/у}$ считать только для дополнительного оборудования. Стоимость неучтенного оборудования – 3% от общей стоимости оборудования.

Общие капитальные вложения на организацию строительства базовой станции подвижной радиосвязи стандарта IMT-2000/UMTS составили $KВ = 2048438,8$ руб.

Расчет капитальных вложений на первом этапе приведен в таблице 7.1. В таблице цены указаны с НДС, стоимость оборудования указана в рублях, а стоимость импортного оборудования переведена в рубли по курсу центрального банка РФ на июнь 2017 года.

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

Таблица 7.1 – Расчет капитальных вложений на первом этапе

Наименование и техническая характеристика оборудования, типы выполняемых работ	Кол-во	Цена единицы с НДС 18%, руб.	Стоимость итого, руб.
Сетевое оборудование			
Антенна приемо-передающая «Kothrein 80010622»	3	30 000	90 000
RRUS11 Внешний радиоблок «Ericsson»	3	250 000	750 000
1/2 Jumper Coble, 1/2" «TSR 951 70»	6	2 350	14 100
Оптическая кабельная сборка (A2) «RPM253 1633/50M»	1	4 512	4 512
Оптическая кабельная сборка (A2) «RPM253 1633/50M»	1	4 512	4 512
Оптическая кабельная сборка (A3) «RPM253 1633/100M»	1	6 345	6 345
Кабель электропитания RRL СИП44х50	72м	132.1	9 511.2
RET модуль регулировки мех. угла «Kothrein 860101483»	3	892.2	2694.6
RET кабель «1/TSR 484 21/3000»	3	1 802	5406
Шкаф телекоммуникационный «ШТК-102 КН-02С»	1	39 501	39 501
Модуль управления «Ericsson RBS 6601»	1	350 000	350 000
Модуль питания TCU-02 «KDU 137 739/1» для «Ericsson RBS 6601»	1	60 309. 90	60 309. 9
Итого			1336891.7
Заготовительно-складские расходы		1%	13368.917
Установка и настройка		15%	200533.755
Сумма			213902,672
Дополнительное оборудование			
Вводно-распределительное устройство «MP-1BPCФ4-35»	1	3 582	3 582
Система электропитания «PS48-0080-3U (4/1000)»	1	18 569	18 569
Аккумуляторная батарея «Norreкенet.power 127170»	4	21 320	85280
Полоса ВстЗсп ГОСТ 535-884х25 ГОСТ 103-76	80м	524.875	41 990
Блок грозозащиты	1	1 500	1 500
Труба-стойка 200мм;3м	4	3000	12000
Кабельные лотки 200мм	15м	248.4	3 726
Прокалывающий зажим SLIP22.1	14	361	5054
Колпачки изолирующие CE25-100	14	0.76	10.64
Кабель электропитания RRUTFL 492 325/500M -	12м	200	2400
Итого			174111,64
Тара и упаковка		0,5%	870,5582
Транспортные расходы		1%	1741,1164
Заготовительно-складские расходы		1%	1741,1164
СМР		15%	26116,746
Сумма			30469,537
ИТОГО по смете			1890108.927
Неучтенное оборудование		3%	53062,3
Аренда кровли для установки БС	12 месяцев	20 000	240 000
ВСЕГО			2048438,8

На этапе реализации проекта в г. Москва по адресу переулоч Обуха д. 3 планируется реализовать следующие мероприятия:

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			78

- изготовление и монтаж лёгких металлоконструкций (антенных опор, кабельных лотков, установочной рамы для климатического шкафа, контура заземления);
- установка климатического шкафа для размещения оборудования бесперебойного питания БС и модуля управления «Ericsson RBS 6601»;
- монтаж остального сетевого оборудования БС (внешние радио-блоки, оптический интерфейс, антенны, джамперы, моторы RET, для регулировки угла наклона);
- подключение питающего оборудования БС (вводно-распределительное устройство, система электропитания, модуль питания; аккумуляторные батареи);
- ввод базовой станции в эксплуатацию, по согласованию с заказчиком.

7.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Эксплуатационными расходами ($P_{эк}$) называются текущие расходы организации на реализацию услуг связи. $P_{эк}$ состоят из всех расходов на содержание и обслуживание базовой станции и по своей экономической сущности показывают себестоимость услуг сотовой связи в денежном выражении. В связи эксплуатационные расходы рассчитываются на основе группировки затрат по экономическим элементам, принятой для всех отраслей экономики, предприятий и форм собственности:

- страховые взносы в государственные внебюджетные фонды;
- затраты на оплату труда работников;
- амортизационные отчисления;
- материальные затраты;
- прочие расходы.

Проект предполагает создание новой базовой станции, поэтому необходимо спланировать количество рабочих, которое позволит своевременно и эффективно выполнить задачи по развертыванию новой микро соты сети. При

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

этом обслуживающий персонал не будет отвлечен от штатного расписания организации. Интервал стоимости СМР, установки и настройки определен в виде суммы 226649,746 -15% от итога стоимости сетевого оборудования и 15% от итога стоимости дополнительного оборудования. (таблица 7.1). На практике в Москве при наличии посредников в виде подрядных и субподрядных организаций, монтажники связи и металлоконструкций получают 10%-20% от СМР, что соответствует среднему месячному окладу перечисленных специалистов в таблице 7.2, по данным компании HeadHunter [17].

Таблица 7.2 – Состав специалистов СМР, установки и настройки базовой станции

Наименование должностей	Оклад, руб.	з/п, за 1 день работы руб.	Кол-во рабочих дней	Количество, чел.	Сумма з/п, руб. за рабочие дни
Инженер программист	70 000	3180	1	1	3180
Электросварщик	40 000	1360	1	1	1360
Монтажник-высотник	60 000	2730	7	2	38220
Итого (ФЗП)					42760

Сумма заработной платы за количество дней необходимое для ввода базовой станции в эксплуатацию равна 42760р. Следовательно, прямое сотрудничество с исполнителями работ по договору временного найма, даст экономию капитальных вложений (КВ) в размере 183889,746руб (226649,746 – 42760 руб), При заключении договора временного найма не предусматриваются взносы на соцстрахование, и нет единого социального налога, в частности налога в ФСС (4%). Но если договор найма подписывается с лицом, не зарегистрированным как предприниматель, то его могут наказать за незаконное занятие предпринимательством.

После корректировки СМР и стоимости установки и настройки сетевого оборудования, КВ составили 1864549,054 руб. (2048438,8 р-183889,746р).

Для расчета годового фонда заработной платы необходимо определить численность штата производственного персонала. Выбранное оборудование не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Поэтому вся группа по обслуживанию оборудования будет состоять из специалистов, задействованных в регионе для аварийно-профилактических работ. В таблице 7.3 приведен рекомендуемый состав обслуживающего персонала.

Таблица 7.3 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, руб.	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Инженер по обслуживанию и мониторингу сети	70 000	1	70 000
Электромеханик	30 000	1	30 000
Монтажник высотник	60 000	2	120 000
Итого (ФЗП)		4	220 000

Величину общего годового фонда оплаты труда (ΦOT_2) можно рассчитать по формуле:

$$\Phi OT_2 = \Phi ЗП \cdot N_m \cdot Pr \cdot K_p \cdot K_{вр}, \quad (7.1)$$

где $\Phi ЗП$ – основной фонд заработной платы на 4 работников указанных категорий, $\Phi ЗП = 220\,000$ руб.;

N_m – количество месяцев в году, $N_m = 12$;

Pr – размер премии, $Pr = 1,3$ (30%);

$K_{вр}$ – коэффициент, учитывающий доплату за работу с вредными условиями труда, $K_{вр} = 1,04$.

$$\Phi OT_2 = 220000 * 12 * 1,3 * 1,04 = 3569280 \text{ (руб.)}$$

Страховые взносы (CB) в государственные внебюджетные фонды составляет 30% от ΦOT :

$$CB = \Phi OT_z \cdot 0,3$$

$$CB = 3569280 \cdot 0,3 = 1070784 \text{ (руб.)}$$

Амортизационные отчисления (A) на полное восстановление производственных фондов определяются по формуле:

$$A = K_{осн.i} \cdot H_{a.i}, \quad (7.2)$$

где $K_{осн.i}$ – первоначальная стоимость основных фондов ($K_{осн.i}$ состоит из затрат на оборудование); $H_{a.i}$ – норма амортизационных отчислений основных фондов на оборудование отрасли связи; $H_{a.i} = 5\%$.

$$A = 1336891.7 \cdot 0,05 = 66844,55 \text{ (руб.)}$$

Величина материальных затрат ($Z_{общ}$) включает в себя оплату электроэнергии для бесперебойной работы базовой станции, затраты на материалы и запасные части. Составляющие материальных затрат определяются по формуле:

$$Z_{общ} = Z_{эн} + Z_{мз}, \quad (7.4)$$

где $Z_{эн}$ – затраты на оплату электроэнергии;

$Z_{м}$ – затраты на материалы и запасные части.

Затраты на оплату электроэнергии определяются в зависимости от мощности оборудования по формуле:

$$Z_{эн} = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (7.5)$$

Где T – тариф на электроэнергию, $T = 5,38$ руб./кВт/час – с 1 июля по данным Мосэнергосбыта;

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

P – суммарная потребляемая мощность оборудования, для БС IMT-2000/UMTS = 1,35 кВт/час.

$$Z_{эп} = 5,38 * 24 * 365 * 1,35 = 63623,88 \text{ (руб.)}$$

Затраты на материалы и запасные части составляют 3,5% от капитальных вложений K и определяется по формуле:

$$Z_{мз} = KB \cdot 0,035 \quad (7.6)$$

$$Z_{мз} = 1864549,054 * 0,035 = 65259,21689 \text{ (руб.)}$$

Суммируем составляющие материальных затрат:

$$Z_{общ} = 63623,88 + 65259,21689 = 128884 \text{ (руб.)}$$

Инсталляция базовой станции осуществляется на кровле и на закрытой территории Научно-Исследовательского физико-технический института им. Карпова. Общая стоимость аренды мест подвеса определяется по формуле:

$$Z_{общ. ар.} = Z_{ар} \cdot N_{ар}, \quad (7.7)$$

где $Z_{ар}$ – стоимость одного места подвеса в год; $Z_{ар} = 240000$ руб. $N_{ар}$ – количество арендуемых мест подвеса; $N_{ар} = 1$ базовая станция.

$$Z_{общ. ар.} = 240\,000 * 1 = 240\,000 \text{ (руб.)}$$

Прочие расходы предусматривают общие производственные и эксплуатационно-хозяйственные расходы, ремонт и обслуживание зданий,

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

некоторые виды налогов, страхование имущества, расходы на рекламу, аудит и представительские расходы. Прочие расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{np} = 0,4 \cdot \Phi OT_z, \quad (7.8)$$

Величина общих прочих расходов составит:

$$Z_{np} = 0,4 * 3569280 = 1427712 \text{ (руб.)}$$

Результаты годовых эксплуатационных расходов указаны в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, руб.
Фонд оплаты труда годовой (ΦOT_z)	3 569 280
Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды (CB)	1 070 784
Амортизационные отчисления (A)	66 844,55
Материальные затраты ($Z_{обш}$)	128 884
Аренда мест подвеса БС ($Z_{обш.ар}$)	240 000
Прочие расходы (Z_{np})	1 427 712
ВСЕГО	6 503 504,55

Таким образом, общие годовые эксплуатационные расходы равны 6503504,55руб.

7.3 Расчет тарифных доходов

Проектируемая базовая станция подвижной радиосвязи стандарта IMT-2000/UMTS будет предоставлять абонентам услуги голосовой связи, видеосвязи, передачу SMS, услуги доступа в сеть Интернет.

В пределах района микро соты проектируемой базовой станции ближайшая точка продажи сим-карт - Курский вокзал, учитывая средний дневной пассажиропоток 200 000 человек, примем это количество за предполагаемое число потенциальных абонентов. Для расчёта количества

абонентов ($N_{аб.инт}$), которые будут подключаться на новые тарифные планы в районе проектируемой базовой станции, необходимо выбрать процент от общего числа.

Неотъемлемой частью UMTS диапазона является Интернет – доступ. По аналитическим исследованиям розничной сети «Связной», доля проникновения смартфонов на Российский рынок в первом квартале 2017 составила 52%. Этот показатель выше показателей прошлых лет, но так же он говорит о том, что около 50% абонентов отдают предпочтение телефонам с голосовой связью, как основной функцией аппарата.

С учетом конкуренции, и наличия зоны покрытия оператора, для которого предлагается модернизация сети, целесообразно рассчитывать, что в первый год на долю этой базовой станции придется 1 % от всех абонентов:

$$N_{аб.инт} = 200000 * 0.01 = 2000 \text{ (человек).}$$

В остальные годы число абонентов будет возрастать на 1 % в год.

Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи 1234G [18] привёл сравнение тарифных планов на 2017 год. Предполагаемые пакетные тарифные планы, а так же их цены выведены из средних показателей операторов большой четвёрки и представлены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

№ Тарифа	Пакет исходящих минут, мин.	Пакет SMS	Порог трафика на макс-скорости. Гб	Абонентская плата, руб./мес.	Доля абонентов от $N_{аб.инт}$, %	Примерное число пользователей
1	250	100	5	250	35	700
2	450	350	10	400	25	500
3	700	600	15	600	20	400
4	1300	1000	20	950	10	200
5	2500	2000	20	1600	10	200

Суммарный тарифный годовой доход от предоставления услуг сотовой связи ($D_{год}$) определяется по формуле:

$$D_{год} = \sum_i T_i \cdot N_i \cdot 12, \quad (7.9)$$

где T_i – стоимость тарифного плана; N_i – предполагаемое количество абонентов, подключенных к данному тарифному плану.

$$\begin{aligned} D_{год} &= [250 \cdot 700 + 400 \cdot 500 + 600 \cdot 400 + 950 \cdot 200 + 1600 \cdot 200] \cdot 12 = \\ &= 562500 \cdot 12 = 6750000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

7.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации

Срок окупаемости – временной период, когда реализованный проект начинает приносить прибыль, превосходящую ежегодные затраты.

Для оценки срока окупаемости можно воспользоваться принципом расчёта чистого денежного дохода (NPV), который показывает величину дохода на конец i -го периода времени. Данный метод основан на сопоставлении величины исходных инвестиций (IC) с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений (PV) за весь расчетный период. Иными словами, этот показатель представляет собой разность дисконтированных показателей доходов и инвестиций, рассчитывается по формуле:

$$NPV = PV - IC \quad (7.10)$$

где PV – денежный доход, рассчитываемый по формуле (7.11);

IC – отток денежных средств в начале n -го периода, рассчитываемый по формуле (7.12).

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n}, \quad (7.11)$$

где P_n – доход, полученный в n -ом году,

i – норма дисконта,

T – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}}, \quad (7.12)$$

где I_n – инвестиции в n -ом году; i – норма дисконта, m – количество лет, в которых производятся выплаты.

Ставка дисконта предполагает расчет различными способами, наиболее простым является кумулятивный способ, при котором в качестве нее выбирается средняя ставка по долгосрочным валютным депозитам пяти крупнейших российских банков и на данный момент составляет 8.1 %. Эта ставка формируется в основном под воздействием внутренних рыночных факторов.

Параметр P показывает прибыль, полученную за некоторый год, без учета предыдущих лет.

Таблица 7.6 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	P	PV	I	IC	NPV
0	0,00	0,00	1864549,054	1864549,054	-1864549,054
1	6750000	6244218,32	6 503 504,55	7880741,97	-1636523,65
2	13500000	17796888,66	6 503 504,55	13446137,83	4360750,83
3	13550000	28483910,25	6 503 504,55	18594515,13	9889395,12

Как видно из таблицы 7.6, положительная разница между доходами и расходами появляется уже в 1 году. Более точный срок окупаемости приведен ниже.

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + |NPV_{n-1}| / (|NPV_{n-1}| + NPV_n), \quad (7.13)$$

где T – значение периода, когда чистый денежный доход меняет знак с «-» на «+»; NPV_n – положительный чистый денежный доход в n году; NPV_{n-1} – отрицательный чистый денежный доход по модулю в $n-1$ году.

$$PP = 2 + 1636523,65 / (1636523,65 + 4360750,83) = 0,27 \text{ года.}$$

Индекс рентабельности представляет собой относительный показатель, характеризующий отношение приведенных доходов приведенным на ту же дату инвестиционным расходам и рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=1}^m \frac{IC_n}{(1+i)^{n-1}}, \quad (7.14)$$

$PI > 1$, то проект следует принимать; если $PI < 1$, то проект следует отвергнуть; если $PI = 1$, то проект ни прибыльный, ни убыточный.

$$PI = 28483910,25 / 18594515,13 = 1,53$$

Так как полученный $IP > 1$ и равен 1,53, то проект является рентабельным. Внутренняя норма доходности (IRR) – норма прибыли, порожденная инвестицией. Это та норма прибыли, при которой чистая текущая стоимость инвестиции равна нулю, или это та ставка дисконта, при которой дисконтированные доходы от проекта равны инвестиционным затратам. Внутренняя норма доходности определяет максимально приемлемую ставку дисконта, при которой можно инвестировать средства без каких-либо потерь для собственника.

					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов:

$$IRR > i$$

где i – ставка дисконтирования.

Расчет показателя IRR осуществляется путем последовательных итераций. В этом случае выбираются такие значения нормы дисконта i_1 и i_2 , чтобы в их интервале функция NPV меняла свое значение с «+» на «-», или наоборот. Далее по формуле делается расчет внутренней нормы доходности:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1), \quad (7.15)$$

где i_1 – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором $NPV > 0$;

i_2 – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором $NPV < 0$.

$$i_1 = 8,1; NPV_1 = 4360750,83$$

$$i_2 = 8,8; NPV_2 = -1636523,65$$

$$IRR = 8,1 + \frac{4360750,83}{4360750,83 - (-1636523,65)} (8,8 - 8,1) = 8,61\%$$

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 8,61%, что больше значения цены капитала, за которое принято 8,1%, что означает, что проект целесообразен в реализации и функционировании.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7.5 Выводы по разделу

Расчитанные технико-экономические показатели на конец расчетного периода сведены в таблицу 7.7.

Таблица 7.7 – Основные технико-экономические показатели проекта

Показатели	Численные значения
Количество абонентов, чел	2000
Капитальные затраты, руб.	1864549,054
Ежегодные эксплуатационные расходы, руб., в том числе:	6 503 504,55
1. Расходы на оплату производственной электроэнергии	63623,88
2. Расходы на материалы, запасные части и текущий ремонт	128884
3. Фонд оплаты труда	3 569 280
4. Страховые взносы	1 070 784
Амортизационные отчисления	66 844,55
Доходы (NPV), руб.	4360750,83
Внутренняя норма доходности (IRR)	8,61%,
Индекс рентабельности (PI)	1,53
Срок окупаемости, год	0,27

Таким образом, в данном разделе осуществлена калькуляция эксплуатационных расходов и оценка капитальных вложений в предлагаемый проект. Определен общий доход от реализации проекта, рассчитаны основные оценочные показатели проекта, характеризующие финансовый уровень решения задач.

Полученные технико-экономические показатели свидетельствуют о том, что данный проект установки базовой станции подвижной радиосвязи стандарта IMT-2000/UMTS является экономически эффективным и его реализация целесообразна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе разработано оптимальное решение для расширения сети сотовой связи в условиях городской застройки. Для реализации проекта подобрано сетевое оборудование с гибкой системой сценариев развёртывания, позволяющее проводить удаленную оптимизацию сети. Основными преимуществами выбранной базовой станции являются: высокая пропускная способность и реализация поддержки нескольких диапазонов в каждом радиоблоке RBS 6601, производства компании Ericsson. Секторные антенны производства Kothrein, имеют оптимальный коэффициент усиления и поддерживают три диапазона частот, в том числе UMTS.

Для обеспечения зоны покрытия в районе Курского вокзала в г. Москва, были проведены следующие расчёты и моделирование:

- Определение бюджета потерь в направлениях UpLink и DownLink, при нахождении абонента в разных точках приема;
- Расчет зоны покрытия, при максимальной мощности передатчика 20 Вт на один канал;
- Вычисление максимальной дальности влияния помех от других базовых станций;
- Построение в программной среде Radio Planning System 2 модели распространения радиоволн с помощью COST231-Хата и модели RPS.
- Расчет абонентской ёмкости базовой станции, при разной интенсивности речевой нагрузки.

По итогу проделанной работы была составлена структурная схема Ericsson RBS 6601, разработана схема расположения АФУ с указанием азимута секторных антенн, составлен план расположения оборудования в климатическом шкафу базовой станции. В требованиях по безопасности проекта учены требования защиты от возможного падения льда с антенных сооружений. В соответствии с ГОСТ требованиями разработана схема

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

заземления и молниезащиты. Для бесперебойной работы базовой станции рассмотрены требования к электропитанию.

По итогу расчета экономических показателей, составлен перечень оборудования для монтажа аппаратных средств. Капитальные вложения в данный проект составляют 1864549 рублей. Установленные тарифы на услуги связи позволят получить тарифный доход 4360750 рублей в год, при нагрузке в 1% от пассажиропотока Курского вокзала. Срок окупаемости проекта составит 3 месяца, данный показатель полностью соответствует требованиям последних лет по окупаемости базовой станции радиотелефонной связи широкополосного доступа.

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качество связи, ответственный Алхазов Дмитрий Михайлович
Последнее обновление: 16 января 2017 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минкомсвязь России /Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/ru/> (Дата обращения 10.01.17)

2. Российский рынок сотовой связи: текущее состояние и прогноз, 2013–2020 гг. [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании J'son & Partners Consulting / Режим доступа: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rossiyskiy-gynok-sotovoy-svyazi-tekuschee-sostoyanie-i-prognoz-20132020-gg-20170321051703 (Дата обращения 12.01.17)

3. Берлин А.И. Цифровые сотовые системы связи. [Текст] /: Москва, Изд-во Эко-Трендз, 2007. – 296 с.

4. Карта города Москва [Электронный ресурс] // Google /Режим доступа: <https://www.ru/maps/> (Дата обращения 15.01.17)

5. Ситуационный план местности, [Графический материал] проектный отдел ОАО «Московская сотовая связь»

6. Сетевое оборудование [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Ericsson /Режим доступа: <https://www.ericsson.com/ourportfolio/networks-products/> (Дата обращения 20.01.17)

7. Варианты совместимости RRU RBS 6601 [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://www.telecom.org.ru/> (Дата обращения 20.01.17)

8. Стандартизация сетей сотовой связи [Текст] /: 3GPP TS 36 104: «Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011

9. Бабков В.Ю. Цикин И.А. Сотовые системы мобильной связи: учебное пособие. [Текст] Санкт-Петербург Изд-во: «БХВ-Петербург» 2013г.

10. Бабков В.Ю. Общие подходы к задачам планирования и оптимизации 2G - 4G сетей подвижной связи [Текст] /: Бабков В.Ю. - Санкт-Петербург Изд-во: Государственный университет телекоммуникации, 2011г – 48 с.

									Лист
									93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.586.ПЗВКР				

11. ГОСТ Р 53363-2009 Цифровые радиорелейные линии, показатели качества, методы расчёта, разработ. Науч.- исслед. ин-том строит. физики Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций, ООО «Научно-производственная компания «СвязьСервис» г. Москва Изд-во Стандартиформ 2010

12. ГОСТ 464-79, Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов и антенн систем коллективного приема телевидения.

13. РД 34.20.185 «Инструкция по проектированию городских электросетей»

14. «Правила техники безопасности при сооружении и эксплуатации радиопредприятий» (Минсвязи СССР, ЦНИЛОТ),

15. «Правила по охране труда на центральных и базовых станциях радиотелефонной связи» ПОТ РО-45-008.

16. Болдышев А.В. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Технико-экономическое обоснование дипломного проекта» - Белгород: Изд-во НИУ БелГУ, 2012. – 25 с.

17. Данные о средней заработной плате в Москве [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании HeadHunter / Режим доступа: <https://hh.ru/> (Дата обращения 20.05.17)

18. Сравнение тарифных планов операторов сотовой связи [Электронный ресурс] // Официальный сайт портала о современных технологиях мобильной и беспроводной связи 1234G/ Режим доступа: <http://1234g.ru/novosti/> (Дата обращения 21.05.17)

						Лист
					11070006.11.03.02.586.ПЗВКР	94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		