Министерство образования Новосибирской области

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Новосибирской области

«Новосибирский колледж почтовой связи и сервиса»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

зам. директора по УПР

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/Т.В. Пушкарева

приказ № \_\_\_

от «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г

|  |  |
| --- | --- |
| ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  (ДИПЛОМНАЯ РАБОТА)  на тему: Моделирование и оценка зоны покрытия сетей LTE | |
| **Специальность 12.02.08 Средства связи с подвижными объектами** | |
| Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Подпись Фамилия, И., О. студента | |
| Группа \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  |
| Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Подпись Фамилия, И., О. руководителя | |
| Нормоконтроль \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Подпись Фамилия, И., О. нормоконтролера | |
| Председатель  цикловой комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Подпись Фамилия, И., О. председателя | |

Новосибирск, 2021 г.

**Содержание**

Введение

# 1. **Принципы построения и функционирования сетей LTE**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

2.Преимущества использования сетей LTE

3.Архетектура сети

4. Анализ особенностей территориального проектирования

5.Основные технические характеристики стандарта LTE

6.Протоколы LTE

7. Планирование сети LTE

## **1.1 Этапы планирования сетей мобильной связи стандартов LTE**

8.Описание места проектирования сети сотовой связи Барабинский район

9.Расположение базовых станций на территории Барабинска

10.Расчет нагрузки на проектируемую сеть

Заключение

Список литературы

# **Введение**

В последнее время потребность в высокоскоростной мобильной ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ коммуникации очень выросла. Абоненты мобильных операторов нуждаются в возможности пользоваться интернет-сервисами, требующими высокой скорости, такими как электронная коммерция, скачивание видеозаписей, видеоконференции и игр, не отягощая себя потребностью в проводном подключении своего портативного устройства к стационарным ПК или к сетям Wi-Fi. ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎

Основное условие ‌‌‍‍‎ формирования LTE сетей потребность в уменьшении задержки прохождения сигнала, повышение скорости передачи данных, улучшении пропускной способности и дальности действия, уменьшение стоимости реализации. Главная особенность сетей LTE – это использование многопользовательской технологии OFDMA (Orthogonal Frequency Multiple Access), в которой пользователям предоставляется набор каналов с ортогональными частотами. Применение ортогональных частот предоставляет возможность снизить интерференцию между каналами с соседними частотами и улучшить эффективность использования частотного спектра. В технологии LTE спектральная эффективность в 2-4 раза лучше, нежели в сетях 3G.Моделирование дальности действия, а также пропускной способности базовой станции мобильных сетей LTE. ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎ ‌‌‍‍‎

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Формирование беспроводной связи сопровождается непрерывной сменой технологий, в основе которых лежат стандарты сотовой связи GSM и CDMA и стандарты систем передачи данных IEEE 802. Исторически технологии беспроводной связи формировались по двум независимым направлениям – системы телефонной связи и системы передачи данных (Wi-Fi, WiMAX). Однако в последнее время прослеживается очевидная направленность к слиянию данных функций. ‌‌‍‍‎ Более того, размер пакетных данных в сетях сотовой связи третьего поколения (3G) превышает объем голосового трафика это связано с применением технологий HSPA. Современные сети передачи информации обеспечивают уровень качества услуг(QoS) для разных видов трафика. Реализуется поддержка приоритезации потоков информации, причем как на сетевом и транспортном уровнях (на уровне TCP/IP), так и на МАС-уровне (стандарты IEEE 802.16). Таким образом это позволяет применять их для оказания услуг голосовой связи, передачи мультимедийной информации и т.п. ‌‌‍‍‎

В связи с этим представление сетей ‌следующего поколения (4G) связано с созданием универсальных мобильных мультимедийных сетей передачи информации. Эти две группы технологий нацелены на оказание универсальных услуг связи. WiMAX и технологии сотовой связи поколений "cупер 3G". При этом каждая из них занимает свою место на большом рынке беспроводной связи. ‌‌‍‍‎

Технология фиксированного WiMAX (IEEE 802.16-2004) не оправдала возлагавшихся надежд по быстродействию, объему зоны покрытия и ценовым характеристикам. Но операторы справедливо ожидают ‌‌‍‍‎ качественного прорыва от мобильного WiMAX (IEEE 802.16e), который уже начал активно внедряться во всех странах мира, включая Россию.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Технологии 3G уже широко используются операторами сотовой связи во всем мире. Они развиваются по двум направлениям – линия UMTS (WCDMA) и линия CDMA (cdma200). Например, российский сотовый оператор "МегаФон" в 2008 году в Санкт-Петербурге начал коммерческую эксплуатацию сети из 45 базовых станций на основе технологии UMTS/HSPA. МТС предоставляет услуги широкополосного мобильного доступа в Интернет на базе технологии 3G в восьми крупных городах России. Еще раньше ОАО "Московская Сотовая Связь" под торговой маркой "Скай Линк" развернуло сети по технологии CDMA20001X EV-DO в диапазоне 450МГц на территории 31 субъектa РФ.

Однако требования конечных пользователей к предоставляемым услугам постоянно повышаются. Мобильные сети должны использоваться не только для сотовой связи, но и для передачи видео, мобильного ТВ, музыки и работы с Интернетом с высокими скоростями и качеством передачи. Именно с этой целью в рамках проекта сотрудничества в создании сетей третьего поколения 3GPP (3G Partnership Project) была начата разработка технологии LTE. По сравнению с ранее разработанными системами 3G, радиоинтерфейс LTE обеспечит улучшенные технические характеристики. В частности, в LTE ширина полосы пропускания может варьироваться от 1,4 до 20 МГц, что позволит удовлетворить потребностям разных операторов связи, обладающих различными полосами пропускания.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

# **Принципы построения и функционирования сетей LTE**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

LTE включает в себя сеть радиодоступа (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN) и усовершенствованное пакетное ядро (Evolved Packet Core, EPC).

**EUTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)** — усовершенствованный беспроводной интерфейс **3GPP (LTE)**. Это сеть радиодоступа, являющаяся заменой UMTS и HSDPA/HSUPA (сетей 3-го поколения, т.е **3G**).

EUTRAN состоит только из eNodeB. Что является упрощением UTRAN, использующемся в UMTS и HSDPA/HSUPA. Узлы eNodeB взаимодействуют между собой через протокол Х2.

Сеть EUTRAN обеспечивает более высокую скорость передачи данных, малую задержку на обеих плоскостях управления и пользователя, бесшовное переключение и большее покрытие ячейки.

**EPC (Evolved Packet Core)** — усовершенствованное пакетное ядро. В него входят следующие компоненты: **ММЕ**, **HSS**, **SGW** и **PGW**.

Для связи EUTRAN с EPC используется протокол S1.

Упрощенная архитектура сети LTE

Сеть LTE построена как совокупность новых базовых станций eNB (Evolved NodeB или eNodeB), где соседние eNB соединены между собой интерфейсом Х2. eNB подключены к EPC посредством интерфейса S1. На рис.1 показано взаимодействие новых элементов в архитектуре сети: S-GW (Serving Gateway) – обслуживающих шлюзов, содержащих ПО управления по протоколу MM (MME – Mobility Management Entity).

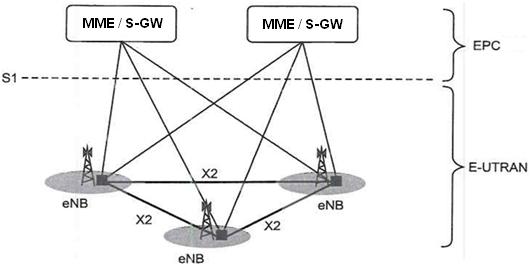


Рис. 1. Упрощенная архитектура сети LTE

В сети радиодоступа радиоинтерфейс между UE и eNB осуществлен на основе технологии ортогонального частотного разнесения (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDMA). Работа EPC основана на технологии IP. Такую структуру относят к All-IP Network (AIPN).

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

## **Структура сети LTE**

Структура сети LTE приведена на рис. 2.  Ядро сети EPC (Evolved Packet Core) состоит из обслуживающего шлюза S-GW (Serving Gateway), шлюза для выхода на пакетные сети P-GW (Packet Data Network Gateway), структуры управления по протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), связанной с S-GW и eNodeB сигнальными интерфейсами.

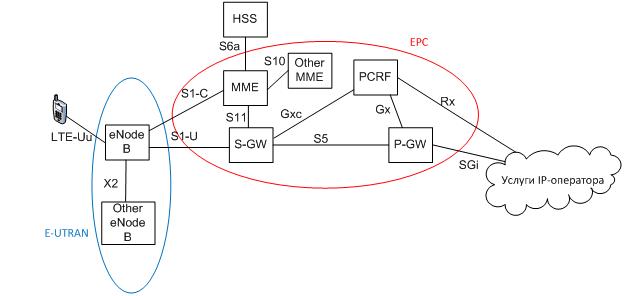


Рис. 2. Структура сети LTE

## **Функции eNodeB (Evolved NodeB)**

**eNodeB**  объединяет в себе функции базовых станций и контроллеров сетей 3-го поколения:

- обеспечивает передачу трафика и сигнализации по радиоканалу,

- управляет распределением радиоресурсов,

- обеспечивает сквозной канал трафика к S-GW,

- поддерживает синхронизацию передач и контролирует  уровень помех в соте,

- обеспечивает шифрацию и целостность передачи по радиоканалу,

- выбирает MME и организует сигнальный обмен с ним,

- производит сжатие заголовков IP-пакетов,

- поддерживает услуги мультимедийного вещания,

- при использовании структуры с  усилителями мощности на антенной мачте организует управление антеннами по специальному интерфейсу Iuant.

**Интерфейс S1**, как показано на рис.2, поддерживает передачу данных с S-GW и сигнализации через ММЕ. Отметим, что eNB может иметь соединения с несколькими S-GW.

**Интерфейсы X2** используют для организации хэндоверов между соседними базовыми станциями, в том числе и при балансировке нагрузки между ними. При этом интерфейсы Х2 могут быть логическими, т.е. для их организации не обязательно реальное физическое соединение между eNB.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

## 

## **Функции обслуживающего шлюза S-GW:**

-  маршрутизация передаваемых пакетов данных,

- установка качественных показателей (Quality of Service, QoS) предоставляемых услуг,

- буферизация пакетов для UE, пребывающих в состоянии Idle Mode,

- предоставление учетных данных для тарификации и оплаты выполненных услуг.

S-GW является якорной структурой, обеспечивающей мобильность абонентов. Каждую работающую UE обслуживает определенный S-GW. Теоретически UE может быть связана с несколькими пакетными сетями; тогда ее будут обслуживать несколько серверов S-GW.

## **Функции P-GW (Packet Data Network Gateway)**

Шлюз для выхода на пакетные сети **P-GW** организует точку доступа к внешним IP-сетям. Соответственно P-GW является якорным шлюзом для обеспечения трафика. Если абонент имеет статический IP-адрес, то P-GW его активизирует. В случае, если абонент должен получить на время сеанса связи динамический IP-адрес, P-GW запрашивает его с сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) или сам выполняет необходимые функции DHCP, после чего обеспечивает доставку IP-адреса абоненту. В состав P-GW входит PCEF (Policy and Charging Enforcement Function), который входит обеспечивает качественные характеристики услуг на внешнем соединении через интерфейс Sgi и фильтрацию пакетов данных. При обслуживании абонента в домашней сети функции P-GW и S-GW могут выполнять как два разных, так и одно устройство. Интерфейс S5 представляет собой туннельное соединение GPRS или Proxy Mobile Ipv6. Если P-GW и S-GW находятся в разных сетях (например, при обслуживании абонента в роуминге), то интерфейс S5 заменяют интерфейсом S8.

## **Функции MME (Mobility Management Entity)**

**Управляющий блок ММЕ** прежде всего поддерживает выполнение процедур протокола Mobility Management: обеспечение безопасности работы в сети при подключении UE и выбор S-GW, P-GW.  ММЕ связан с HSS своей сети посредством интерфейса S6a. Интерфейс S10, соединяющий различные ММЕ, позволяет обслуживать UE при перемещениях абонента, а также при его нахождении в роуминге.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

## **Функции PCRF**

**Policy and Charging Resource Function (PCRF)** по сути представляет собой управляющий сервер, обеспечивающий централизованное управление ресурсами сети, учет и тарификацию предоставляемых услуг. Как только появляется запрос на новое активное соединение, эта информация поступает на PCRF. Он оценивает имеющиеся в его распоряжении ресурсы сети и направляет в PCEF шлюза P-GW команды, устанавливающие требования к качеству услуг и к их тарификации.

**Преимущества использования сетей LTE**

Технология LTE является логическим продолжением и совершенствованием сетей 3G. Технология способна обеспечивать скачкообразное повышение передачи данных в современных мобильных сетях.

Для примера:

– GSM представляет собой сети второго поколения связи (2G). Обеспечить GSM роутеры смогут передачу информации со скоростью 5,6–13 Кбит/сек. Предназначен такой стандарт для обмена голосовым трафиком. GPRS представляет собой поколение 2,5G (56–114 Кбит/сек), EDGE – поколение (до 473,6 Кбит/сек). Возможности сетей 3G позволяют обеспечивать передачу информации со скоростью до 3,6 Мбит/сек.

– При внедрении LTE скорость передачи может быть обеспечена до 326,4 Мбит/с либо выше от базовой станции для пользователя, в обратном направлении уже до 172,8 Мбит/с.

С учетом возможностей, которые обеспечивает современное LTE оборудование, интерес к ним со стороны операторов выглядит вполне логичным. Ведь развертывание LTE–сетей сегодня оказывается более выгодно и целесообразным. Проект гораздо выгоднее, к примеру, чем дальнейшее разворачивание сетей третьего поколения, поскольку LTE лучше использует частотный центр (имеет меньшую задержку сигнала и повышенную емкость).

Благодаря внедрению в своей практике инновационной технологии LTE, операторы получают возможность существенного снижения операционных и капитальных затрат, сокращения совокупной стоимости владения сетью, расширения спектра предоставляемых услуг, которые относятся к передаче данных с помощью высокоскоростных каналов. Важно такое улучшение и для самих абонентов – ведь благодаря значительному повышению скорости передачи информации удается значительно улучшать общее качество предложенных услуг. Возможности использования технологии LTE:

– Для ноутбуков и нетбуков возможность высокоскоростного доступа в Интернет.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

– Для мобильных телефонов – возможности мобильного телевидения и видеообщения.

– Для коммуникаторов и смартфонов – пользователи могут участвовать в интерактивных играх, оперативно загружая спутниковые карты местности, просматривать интерактивный видеоконтент.

**Архетектура сети**

Архитектура сети LTE разработана таким образом, чтобы обеспечить поддержку пакетного трафика с так называемой «гладкой» («бесшовной», seamless) мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества обслуживания. Мобильность как функция сети обеспечивается двумя её видами: дискретной мобильностью (роумингом) и непрерывной мобильностью (хэндовером). Поскольку сети LTE должны поддерживать процедуры роуминга и хэндовера со всеми существующими сетями, для LTE-абонентов (терминалов) должно обеспечиваться повсеместное покрытие услуг беспроводного широкополосного доступа. Пакетная передача позволяет обеспечить все услуги, включая передачу пользовательского голосового трафика. В отличие от большинства сетей предыдущих поколений, в которых наблюдается достаточно высокая разнотипность и иерархичность сетевых узлов (так называемая распределённая сетевая ответственность), архитектуру сетей LTE можно назвать «плоской», поскольку практически всё сетевое взаимодействие происходит между двумя узлами: базовой стан–цией (БС), которая в технических спецификациях называется B–узлом (Node–B, eNB) и блоком управления мобильностью БУМ, реализационно, как правило, включающими сетевой шлюз Ш (GW, Gateway), т. е. имеют место комбинированные блоки MME/GW.

БУМ работает только со служебной информацией – так называемой сетевой сигнализацией, так что IP–пакеты, содержащие пользовательскую информацию, через него не проходят. Преимущество наличия такого отдельного блока сигнализации в том, что пропускную способность сети можно независимо наращивать как для пользовательского трафика, так и для служебной информации. Главной функцией БУМ является управление пользовательскими терминалами (ПТ), находящимися в режиме ожидания, включая перенаправление и исполнение вызовов, авторизацию и аутентификацию, роуминг и хэндовер, установление служебных и пользовательских каналов и др. Среди всех сетевых шлюзов отдельно выделены два: обслуживающий шлюз ОШ (S–GW, Serving Gateway) и шлюз пакетной сети (P–GW, Packet Data Network Gateway), или, короче, пакетный шлюз (ПШ). ОШ функционирует как блок управления локальной мобильностью, принимая и пересылая пакеты данных, относящиеся к БС и обслуживаемым им ПТ. ПШ является интерфейсом между набором БС и различными внешними сетями, а также выполняет некоторые функции IP–сетей, такие, как распределение адресов, обеспечение пользовательских политик, маршрутизация, фильтрация пакетов и др [[2](http://masters.donntu.org/2014/fknt/maximenko/diss/index.htm#ref2)].

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Как и в большинстве сетей третьего поколения, в основу принципов построения сети LTE положено разделение двух аспектов: физической реализации отдельных сетевых блоков и формирования функциональных связей между ними. При этом задачи физической реализации решаются, исходя из концепции области (domain), а функциональные связи рассматриваются в рамках слоя (stratum). Первичным разделением на физическом уровне является разделение архитектуры сети на область пользовательского оборудования (UED, User Equipment Domain) и область сетевой инфраструктуры (ID, Infrastructure Domain). Пользовательское оборудование – это совокупность ПТ с различными уровнями функциональных возможностей, используемых сетевыми абонентами для доступа к LTE–услугам. При этом в качестве пользовательского терминала может фигурировать как реальный абонент, пользующийся, к примеру, услугами голосового трафика, так и обезличенное устройство, предназначенное для передачи/приёма определённых сетевых или пользовательских приложений [[3](http://masters.donntu.org/2014/fknt/maximenko/diss/index.htm#ref3)].

Для LTE было выделено несколько десятков различных частотных диапазонов, а также разработано две различных системы дуплекса, то есть, одновременной передачи данных в прямом и обратном каналах

Более распространены (90% от общего числа) сети FDD (Frequency Division Duplex) – это частотное разделение, при котором для прямого и обратного канала используются различные полосы частот: то есть, передача происходит на одной частоте, а прием – на другой. Преимущество такой технологии заключается в симметричности канала связи: скорость передачи данных как от абонента, так и к абоненту может быть одинаково высокой. Однако это же является и недостатком: большинство абонентов в основном загружают данные из сети, а не в сеть, поэтому большая скорость в обратном канале им не нужна. При этом для строительства сети FDD нужно найти парные частоты, и значительная часть дефицитного частотного ресурса будет использоваться неэффективно, то есть, простаивать.

Сети TDD (Time Division Duplex) используют временное разделение и прием и передача ведутся на одних и тех же частотах, но попеременно: сеанс передачи делится на таймслоты, и одни из них используются для передачи, а другие для приема. Длительность таймслота измеряется миллисекундами, поэтому с точки зрения абонента передача данных выглядит одновременной. Главное преимущество TDD заключается в том, что оператор может управлять соотношением таймслотов, выделенных на прием и передачу и таким образом полностью использовать частотный ресурс. При этом для сопоставимых скоростей передачи данных требуется вдвое меньшая полоса частот, и не требуется искать парные частоты.

Для того, чтобы развернуть сеть с числом ресурсных блоков LTE 25 (5 МГц) оператору при FDD необходимо 5 МГц для Uplink, и 5 МГц для Downlink (итого 10 МГц), в то время как при TDD необходимо только 5 МГц. Это позволяет оператору экономить частотный ресурс (соответственно и деньги на получение разрешения). Производительность FDD чуть лучше, но далеко не всегда возможно иметь два парных канала. Поэтому для случая непарных частот LTE TDD является наиболее подходящей технологией радиодоступа. На сегодняшний день большинство LTE операторов запустили сети в стандарте FDD, но интерес к TDD неуклонно растет. Из 213 коммерчески запущенных в мире LTE сетей 21 – это LTE TDD, а в 10 сетях применено совместно использование FDD и TDD.

В настоящее время можно отметить рост интереса к технологии LTE TDD в мире – производители уже готовы предоставить готовые решения, а крупнейшие операторы либо тестируют, либо уже развертывают коммерческие сети. Технология обладает рядом существенных отличий в сравнении с LTE FDD, связанных с использованием спектра и может быть использована как самостоятельно, так и как комплиментарная технология с LTE FDD. Производители отмечают потенциал рынка, на который ориентирована технология – он достаточно высок, а растущие потребности абонентов в высокоскоростной передаче данных требуют использования новых частотных ресурсов. Общий же частотный ресурс, стандартизированный под LTE TDD, значителен и составляет 849 МГц против 2х427 МГц для LTE FDD.

Оборудование радиоподсистем двух технологий идентично на 90% и лишь на 10% различается на уровне протоколов обеспечения работы радиочасти, опорная же сеть является унифицированной для обоих стандартов. При этом в технологии LTE TDD доступен такой же функционал, что и в LTE FDD, а также поддерживается полное взаимодействие с сетями 2G/3G – роуминг, хэндовер, балансировка нагрузки и прочие функции. Все это позволяет говорить о зрелости индустрии LTE TDD и ее коммерческой пригодности, также это доказывают реализованные коммерческие проекты для таких операторов, как Softbank в Японии, STC и Mobili в Саудовской Аравии, Aero2 в Польше и других.

Решения на базе LTE TDD можно использовать несколькими способами. Во-первых, непосредственно как технологию мобильного широкополосного доступа для обеспечения услуг передачи данных. Во–вторых, для организации транспортной сети (Mobile Backhaul) [[4](http://masters.donntu.org/2014/fknt/maximenko/diss/index.htm#ref4)].

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**\**

**Анализ особенностей территориального проектирования**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Прежде чем приступить к развертыванию сети, необходимо провести моделирование сети с целью решение следующих ключевых задач [4]:

- частотно-территориальное планирование сети, обеспечивающее минимизацию внутрисистемных помех, максимальный охват территории с требуемым качеством передачи информации и ЭМС с существующими радиотехническими средствами;

- верификация характеристик действующей сети;

- оптимизация методов преобразования и передачи информации проектируемой сети;

- оптимизация параметров оборудования, предназначенного для работы в данной сети. Для решения перечисленных задач моделирования беспроводных сетей требуются следующие исходные данные [5]:

- карта местности, необходимая для адекватного описания условий распространения сигналов в рассматриваемом регионе при использовании модели в компьютерных автоматизированных системах;

- сведения о распределении абонентов (трафике) на рассматриваемой территории и их характеристиках (удельной эрланговой нагрузке), заданные аналитически или представленные в обменном формате картографических данных;

- технические характеристики планируемой сети (технология передачи и обработки информации, частотный диапазон, требуемое отношение сигнал/шум и т.д.), указанные в ее стандарте;

- характеристики применяемого оборудования;

- координаты и технические характеристики радиосредств, функционирующих в рассматриваемом регионе, необходимые для расчета показателей ЭМС проектируемой и действующих в данном регионе сетей.

Планирование радиосетей LTE имеет некоторые отличия от аналогичного процесса для других технологий [6]. Отличия обусловлены типом многостанционного доступа на базе OFDM, наличием двух типов дуплекса – частотного (FDD) и временного (TDD), а при планировании сетей с временным дуплексом приходится искать компромисс между радиопокрытием и емкостью сети. Формирование максимальной площади покрытия или обеспечение требуемой емкости являются основными подходами к планированию 4G сетей на современном этапе развития. Эти задачи порой противоречат друг другу. Так, в городских условиях при высокой плотности абонентов зоны обслуживания БС по площади гораздо меньше максимально возможной, но оптимизированы по пропускной способности. В сельской местности зачастую ситуация противоположная, плотность абонентов невысокая, и базовые станции устанавливаются на максимальном удалении друг от друга так, чтобы закрыть каждой БС максимальную территорию. Но и в том и другом случае оценивают как радиопокрытие, так и емкость сети для того, чтобы выявить в проекте сети факторы, ограничивающие ее характеристики. Планирование радиосети LTE включает несколько этапов [7]:

- начальный этап, который включает сбор предварительной информации о планировании и запуск сети, т.е. подготовки ресурсов, покрытия и емкость расчетов, моделирование; - номинальное и детальное планирование, которое включает в себя выбор и использование различных методов планирования. Этот этап включает в себя настройку модели распространения, определяющие пороги от запланированной ресурса, создание детального плана радио сети на основе пороговых значений, проверки пропускной способности сети с более подробной оценкой трафика, настройка планирования, параметры планирования eNB;

- определение ключевых индикаторов производительности и параметров планирования использования eNB параметров системы и счетчиков,

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

определяющих эффективность ключевых показателей и целевого значения на основе поставщика оборудования, проверка ключевых показателей эффективности и целевого назначения с помощью планирования, а также до и после запуска оптимизации сети. Планирование радиосети LTE будет производиться для городской местности, а это значит, что плотность абонентов будет высокой и базовые станции должны устанавливаться с целью достижения максимально возможной емкости покрытия. Для расчетов берется условный среднестатистический город по населению и плотности, что позволяет охватить большое количество населенных пунктов городского типа и получить общее представление о возможной зоне покрытия и количестве базовых станций.

**Основные технические характеристики стандарта LTE**

Начнем с радиуса соты. Согласно требованиям к системе LTE, при радиусе соты в 5 км, все требования к спектральной эффективности, пропускной способности и работы с мобильными абонентами должны поддерживаться. При радиусе соты в 30 км допускается ухудшение в показателях производительности.  
  
Для обеспечения двунаправленной передачи данных между БС и МС технологией LTE поддерживается как частотный (FDD), так и временной дуплекс (TDD). Для частотного дуплекса определено [15 парных частотных диапазонов](http://anisimoff.org/lte/lte_bands.html) (частоты от 800 МГц до 3.5 ГГц), а для временного - 8. При этом, ширина радиоканала может быть различной. Допустимы следующие значения: 1.4, 3, 5, 10, 15 и 20 МГц. В качестве систем множественного доступа в LTE используются OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) в нисходящем канале и SC-FDMA в восходящем канале.  
  
При использовании технологии **OFDMA** весь имеющийся спектр разбивается на поднесущие, ортогональные друг другу. В зависимости от используемой ширины канала общее количество поднесущих может быть 72, 180, 300, 600, 900 или 1200. Каждая из поднесущих может иметь свой вид модуляции. Могут использоваться следующие модуляции: QPSK, 16QAM, 64QAM. Множественный доступ организуется за счет того, что одна часть поднесущих выделяется одному пользователю к кадре, другая часть - второму пользователю и т.д. Для более подробной информации см. [описание физического уровня](http://anisimoff.org/lte/phy_description.html).  
Основной плюс технологии OFDMA заключается в том, что она позволяет бороться при приеме сигнала с негативными эффектами, вызванными многолучевым распространением. Однако, этой технологии так же присущи и некоторые недостатки. Основные из них заключаются в том, данная технология очень чувствительна к синхронизации по частоте. А также, сгенерированный OFDMA сигнал обладает высоким PAPR (Peak to Average Ratio). Это в свою очередь сказывается на том, что используемый усилитель сигнала будет работать в нелинейных участках своей характеристики. Поэтому его эффективность будет низкой, что достаточно критично для устройств с ограниченным запасом энергии (мобильных терминалов). Из-за этого в восходящем канале LTE используется другая технология множественного доступа, а именно SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Отличие SC-FDMA от OFDMA заключается в том, что в SC-FDMA используется дополнительная обработка сигнала для снижения PAPR. В SC-FDMA в качестве такой дополнительной обработки сигнала используется преобразование Фурье. Так же, как и в нисходящем канале, в восходящем канале могут использоваться следующие виды модуляции: QPSK, 16QAM, 64QAM.  
  
Стандарт LTE также поддерживает технологию передачи [MIMO (Multiple Input Multiple Output)](http://anisimoff.org/lte/general/mimo.html), которая позволяет существенно увеличить пиковую скорость передачи данных и значение спектральной эффективности. Суть технологии MIMO заключается в том, что при передаче и приеме данных используется несколько антенн с каждой стороны. Разные антенны могут передавать одни и те же данные, в этом случае повышается надежность передачи данных, но не скорость передачи. Также разные антенны могут передавать различные потоки данных, при этом увеличивается скорость передачи данных. Максимально в нисходящем канале технологией LTE поддерживается схема 4х4. Это означает, что на передающей и приемной стороне используется по четыре антенны. В этом случае скорость передачи данных может быть увеличена до 4-х раз (в действительности чуть меньше из-за увеличения количества пилотных сигналов).  
  
При использовании технологии MIMO и ширине канала 20 МГц максимальная скорость передачи данных может достигать 300 Мбит/с в нисходящем канале и 170 Мбит/с в восходящем.  
  
В требованиях к LTE значения **спектральной эффективности** указаны как 5 бит/с/Гц для нисходящего канала и 2.5 бит/с/Гц для восходящего канала (что соответствует скоростям передачи данных в 100 Мбит/с и 50 Мбит/с). При этом высокие показатели производительности должны поддерживаться для мобильных пользователей, перемещающихся со скоростью до 120 км/ч.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

В сети LTE при частотном планировании следует оперировать не частотами, а полосами частот.

В своей курсовой работе я хочу произвести расчет параметров зоны обслуживания сети LTE и рассчитать

**Протоколы LTE**

По своей структуре сеть радиодоступа RAN – Radio Access Network – выглядит аналогично сети UTRAN UMTS, или eUTRAN, но имеет одно дополнение: приемо–передающие антенны базовых станций взаимосвязаны по определенному протоколу X2, который объединяет их в сотовую сеть – Mesh Network – и дает возможность базовым станциям обмениваться данными между собой напрямую, не задействуя для этого контроллер RNC – Radio Network Controller. К тому же взаимосвязь базовых станций с системой управления мобильными устройствами MME – Mobility Management Entity – и сервисными шлюзами S-GW – Serving Gateway – осуществляется путем «многих со многими», что позволяет получить большую скорость связи с небольшими задержками.

Изм.

Лист

№ докум.

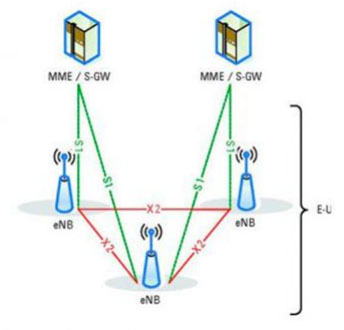
Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА



*Рисунок 1 – Топология сети LTE.*

Стандарты LTE и WiMAX достаточно близки между собой. Они оба используют технологию кодирования OFDM и систему передачи данных MIMO. И в том, и в другом стандарте применяются FDD и TDD-дуплекирование при пропускной способности канала до 20 МГц. И обе из систем связи используют в роли своего протокола IP. Соответственно, обе технологии в реальности одинаково хорошо применяют свой частотный диапазон и обеспечивают сравнимую скорость передачи данных интернет доступа. Но, конечно, есть у них и кое–какие отличия. Одним из таких отличий является гораздо более простая инфраструктура сети WiMAX, а, следовательно, и более надежная технически. Данная простота стандарта обеспечивается его предназначением исключительно для передачи данных. С другой стороны, «сложности» LTE нужны для обеспечения ее совместимости со стандартами предыдущих поколений – GSM и 3G. И данная совместимость нам с вами, безусловно, потребуется. Диспетчеризация радиочастотных ресурсов, в WiMAX производится по технологии Frequency Diversity Scheduling, согласно которой поднесущие, предоставляемые абоненту, распределяются по всему спектру канала. Это необходимо для рандомизации и усреднения влияния частотно–селективных замираний на широкополосный канал.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

В сетях LTE применена другая технология устранения частотно–селективных замираний. Она называется частотно–селективной диспетчеризацией ресурсов – Frequency Selective Scheduling. При этом для каждой абонентской станции и каждого частотного блока несущей создаются индикаторы качества канала CQI – Channel Quality Indicator [[5](http://masters.donntu.org/2014/fknt/maximenko/diss/index.htm#ref5)].

Еще одним очень важным моментом, связанным с планированием сетей связи массового использования – коэффициент переиспользования частот. Его роль – показывать эффективность использования доступной полосы радиочастот для каждой базовой станции в отдельности. Базовая структура переиспользования частотного диапазона WiMAX состоит из 3–х частотных каналов. При использовании трехсекторной конфигурации сайтов (базовых станций определенного частотного диапазона), в каждом из секторов реализован один из 3-х частотных каналов. При этом коэффициент переиспользования частот равняется 3–м. Иными словами, в каждой из точек пространства имеется лишь треть радиочастотного диапазона. Работа сотовой сети LTE (4G) производится с коэффициентом переиспользования частот равном 1. То есть, получается, что все базовые станции LTE работают на одной несущей. Внутрисистемные помехи в подобной системе сводятся к минимуму благодаря частотно–селективной диспетчеризации, гибкому частотному плану и координации помех между отдельными сотами. Абонентам в центре каждой соты могут даваться ресурсы из всей полосы свободного канала, а пользователям на краях сот предоставляются частоты только из определенных поддиапазонов. Перечисленные выше особенности сетей LTE и WiMAX оказывают большое влияние на одну из их главных характеристик – степень радиопокрытия. Отталкиваясь от данного параметра, определяется необходимое количество базовых станций для качественного покрытия конкретной территории. Соответственно, он напрямую влияет и на конечную стоимость строительства сетей LTE [[6](http://masters.donntu.org/2014/fknt/maximenko/diss/index.htm#ref6)].

Согласно расчетам, сеть LTE способна обеспечить лучшую зону покрытия при одинаковом числе базовых станций, что является несомненным плюсом для всех операторов сотовой связи.

**Планирование сети LTE**

## **Этапы планирования сетей мобильной связи стандартов LTE**

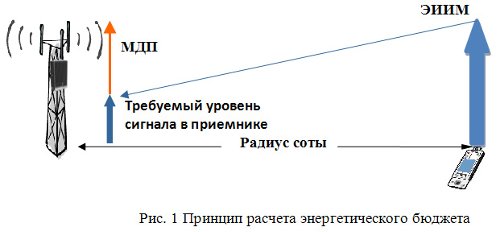
* Определение пространственных параметров сети
* Частотное планирование
* Оценка пропускной способности при заданном профиле трафика
* Уточнение параметров базовых станций и зоны обслуживания, исходя из трафика

**Процесс планирования радиосетей**

Существуют два основных варианта планирования сетей: с целью формирования максимальной площади покрытия или с целью обеспечения требуемой емкости. Эти задачи порой противоречат друг другу. Например, в городских условиях при высокой плотности абонентов зоны обслуживания базовых станций (БС) по площади гораздо меньше максимально возможной, но оптимизированы по пропускной способности. В сельской местности зачастую ситуация – противоположная, плотность абонентов – невысокая, и базовые станции устанавливаются на максимальном удалении друг от друга так, чтобы закрыть каждой БС максимальную территорию. Но и в том и другом случае оценивают как радиопокрытие, так и емкость сети для того, чтобы выявить в проекте сети факторы, ограничивающие ее характеристики.

**Энергетический бюджет**

Анализ радиопокрытия начинают с вычисления энергетического бюджета, или максимально допустимых потерь на линии (МДП). Принцип расчета иллюстрируется Рис. 1, МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимально необходимой мощностью сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_1936_1_full621x288.jpg)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Рассмотрим примеры расчета энергетического бюджета для систем LTE c частотным и временным дуплексом, работающих в диапазоне 2600 МГц. Причем для системы с временным дуплексом рассмотрим два варианта конфигураций кадра 1 и 2, формат специального субкадра – 7. Системная полоса для всех систем рассматривается равной 20 МГц, т.е. в случае FDD системная полоса будет разделяться на два канала по 10 МГц для линии вверх (UL) и линии вниз (DL), а в случае TDD вся полоса 20 МГц будет использоваться как на UL, так и на DL.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Рассмотрим БС, РЧ-блок каждого сектора которой оснащен двумя приемопередатчиками, выходная мощность передатчиков 20 Вт (43 дБм). РЧ-блок устанавливается в непосредственной близости от антенны. Базовая станция работает на линии вниз в режиме MIMO 2x2 с использованием кросс-поляризованной антенны. Поскольку энергетический бюджет рассчитывается для абонентской станции (АС) на краю соты, т.е. принимающей сигналы от БС с низким отношением сигнал/шум (ОСШ), то БС передает сигналы на эту АС в режиме разнесенной передачи. За счет сложения мощностей сигналов двух передатчиков в пространстве можно получить энергетический выигрыш (3 дБ). В качестве АС рассматриваем USB-модем, класс 3 – ЭИИМ 23 дБм.

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/LTE_RNP_Varukina_1805111_Page_03_full716x1200.jpg)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Табл. 1. Энергетический бюджет для условий средней городской застройки

Энергетический бюджет в значительной степени зависит от соотношения длительности кадров на UL и DL. Если в системе FDD конфигурация кадров одинакова для линий вверх и вниз: кадр включает в себя 10 субкадров по 1 мс, то в системе TDD используется ассиметричная структура кадра для линий вверх и вниз.

На Рис.2 изображено 7 конфигураций кадра в системе TDD (в сети TDD конфигурации кадров всех БС должны совпадать; кадры на рисунке пронумерованы по вертикали), состоящего также из 10 субкадров по 1 мс (субкадры пронумерованы по горизонтали). Буквой «S» обозначены специальные субкадры, включающие 3 поля, см. Рис. 3: DwPTS – поле для передачи управляющей информации и пользовательских данных на линии вниз; GP – защитный интервал для переключения с линии вниз на линию вверх; UpPTS – поле для передачи на линии вверх управляющей информации, в основном канала доступа. Обратите внимание, что специальный субкадр позволяет переносить пользовательскую информацию только на линии вниз.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

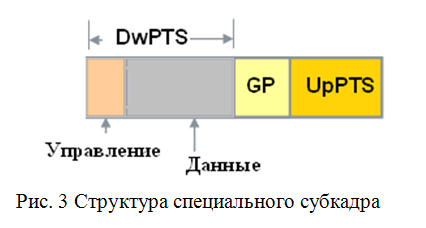
Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_2_full711x240.jpg)

В рассматриваемых примерах системы TDD используется специальный субкадр формата 7 с длительностью полей: DwPTS – 10 символов OFDM, GP – 2 символа OFDM, – 2 символа OFDM.



В системах с адаптивными схемами MCS дальность связи зависит от гарантируемой скорости передачи данных для пользователя на краю соты. В указанных примерах на линии вверх для пользователя на краю соты гарантируется скорость 128 кбит/с. В зависимости от типа дуплекса и соотношения длительностей кадра UL/DL, для переноса этого потока данных, требуется выделить разное количество ресурсных блоков (1 ресурсный блок = 180 кГц х 1 мс). Выбор оптимального числа ресурсных блоков *N*PRB и схемы MCS осуществляются по результатам моделирования канального уровня, исходя из заданного качества услуг с минимизацией ОСШ *M*SNR. Указанные в Табл. 1 значения *M*SNR получены для модели канала «Enhanced Pedestrian A 5».

Запас на помехи *M*Int определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах. Указанные в Табл. 1 значения *M*Int соответствуют нагрузке в соседних сотах 90%.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Для того, чтобы обеспечить связь в помещении, необходимо добавить в энергетический бюджет запас на проникновение радиоволн в помещение *M*Ind. Для диапазона 2600 МГц могут использоваться следующие типовые значения запаса на проникновение:

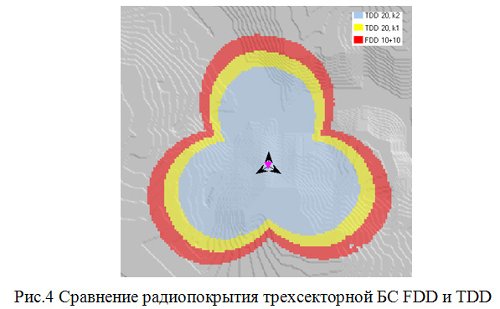
- 22 дБ в условиях плотной городской застройки;  
  
- 17 дБ в условиях средней городской застройки;  
  
- 12 дБ в условиях редкой застройки (в пригороде);  
  
- 8 дБ в сельской местности (на открытой местности в автомобиле).

Поскольку зоны радиопокрытия соседних сот, как правило, перекрываются, то при возникновении глубоких замираний в обслуживающей соте АС может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема. Этот эффект можно интерпретировать как выигрыш от хэндовера *G*HO.

Из двух значений МДП, полученных для UL и DL, выбирают минимальное, по которому производят дальнейший расчет радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

Обратите внимание, что в Табл. 1 максимально допустимые потери на линиях вверх и вниз примерно одинаковые, с разницей меньше 1 дБ. В этих примерах скорости передачи на линии вверх были зафиксированы, а на линии вниз для каждого случая скорость подбиралась так, чтобы сбалансировать максимально допустимые потери для обеих линий.

В Табл. 1 указаны радиусы сот для ограничивающей линии с наименьшим МДП, для линии вверх, в условиях средней городской застройки. Для расчета дальности связи в данном случае используется модель распространения радиоволн COST231-Hata [3], высота подвеса антенн БС принята равной 30 м.

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_4_full597x369.jpg)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

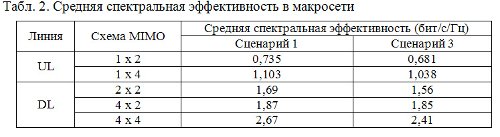
НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Наилучшим радиопокрытием при одной и той же гарантированной скорости передачи данных на линии вверх обладает система FDD. Для того, чтобы передать один и тот же поток данных в трех рассмотренных системах, на линии вверх приходится выделять разное количество частотных ресурсов (в обратной зависимости от длительности кадра), поскольку длительности кадров на линии вверх различаются: 10 мс – в случае FDD; 4 мс – в случае TDD, конф.1; 2 мс – в случае TDD, конф.2. Но чем больше частотных ресурсов выделяется пользователю, тем выше мощность тепловых шумов во входных цепях приемника, и хуже его чувствительность.

Однако, в рассмотренных случаях в системе TDD можно гарантировать более высокую пропускную способность на линии вниз по сравнению с системой FDD, благодаря асимметрии кадров DL и UL, см. Табл. 1.

**Оценка емкости**

Емкость, или пропускную способность, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. В Табл. 2 приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макросети для двух случаев, специфицированных 3GPP как сценарий 1 (расстояние между сайтами 500 м), и сценарий 3 (расстояние между сайтами 1732 м) [1]. В обоих случаях характеристики оценивались для диапазона 2 ГГц, полосы канала 10 МГц (10 + 10 МГц в дуплексе), при потерях на проникновение в здание 20 дБ, в среднем при 10 активных пользователях в соте.

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_5_full747x204.jpg)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Приведем пример расчета пропускной способности для сетей 3 конфигураций, рассмотренных в предыдущем разделе, причем пользоваться будем значениями спектральной эффективности для сценария 1 (расстояние между сайтами 500 м), как наиболее близкого по размерам сот, полученным в предыдущем разделе.

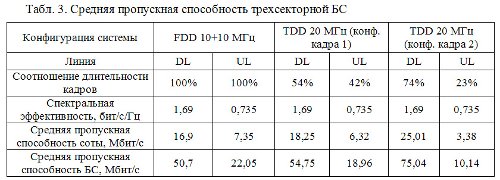
Для системы FDD средняя пропускная способность соты может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность.

Для системы TDD можно принять спектральную эффективность равной аналогичным значениям для системы FDD, а при расчете пропускной способности учитывать долю длительности кадра на линии вверх или вниз. Например, рассчитаем среднюю пропускную способность соты на линии вниз при конфигурации кадра 1:

*R*TDD=*S*FDDaverage.*W*.*T*%=1,69.20000.0,54=18,25 Мбит/с,

где *S*FDDaverage - средняя спектральная эффективность, *W* - ширина канала, </sup>*T*% - доля длительности кадра на линии вверх или вниз.

Результаты расчета пропускной способности трехсекторных базовых станций приведены в Табл. 3.

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_6_full840x303.jpg)

**Сравнивая типы дуплекса**

По диаграммам на Рис. 5 можно сравнить среднюю пропускную способность и площадь покрытия трехсекторного сайта для 3 рассмотренных конфигураций системы LTE (по данным из Табл. 1 и Табл. 3). Если

пропускная способность на линии вниз в системах FDD и TDD с конфигурацией кадра 1 примерно одинаковая, то радиопокрытие различается уже заметно.

Изм.

Лист

№ докум.

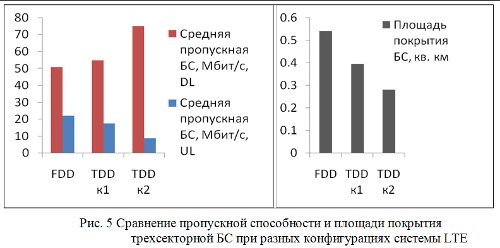
Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_7_full792x393.jpg)

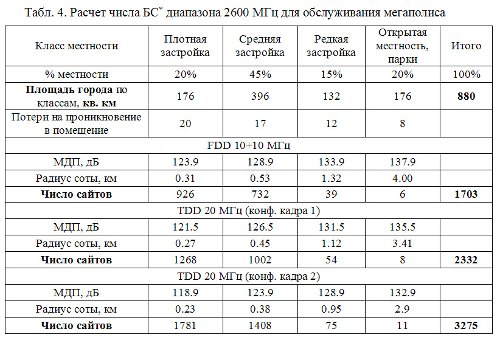
Универсального рецепта по выбору конфигурации системы LTE не существует. Если тип дуплекса определяется отсутствием или наличием парного спектра у оператора, то на выбор конфигурации кадра в TDD могут повлиять требования как к радиопокрытию, так и к пропускной способности.

Чем больше асимметрия кадра TDD и больше длительность кадра на линии вниз, тем, к сожалению, больше ограничения по площади радиопокрытия.

Можно посоветовать операторам на начальном этапе развития сети при малом трафике использовать конфигурацию кадра 1 и ориентироваться на неглубокое/уличное покрытие (гарантировать доступ к услугам в зданиях только у окна или из автомобилей), затем по мере роста трафика и уплотнения сайтов переходить к другим конфигурациям кадра с большей асимметрией.

**О частотных диапазонах**

Для 3 рассмотренных конфигураций системы диапазона 2600 МГц рассчитаем требуемое количество трехсекторных сайтов для обслуживания некоторого мегаполиса площадью 880 кв. км. В Табл. 4. указаны результаты расчета, а также распределение классов застройки/местности, определяющих условия распространения радиоволн.

**[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_8_full822x573.jpg)**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

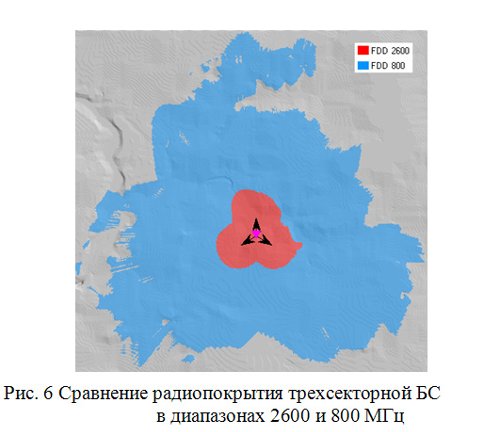
НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

(\*) Более точное оценивание радиопокрытия обычно производят с помощью специальных программных средств радиопланирования, учитывающих рельеф местности и тип застройки.

Полученное число базовых станций должно впечатлить даже неспециалистов. Опыт показывает, что в городе аналогичной площади у сотового оператора имеется 1500-2000 площадок с БС. Ограничения по числу сайтов вызваны не только финансовыми возможностями сотовых компаний, но и отсутствием подходящих площадок для установки БС.

А теперь взглянем на оценку числа базовых станций в сети LTE FDD диапазона 800 МГц, см. Табл. 5. Энергетический бюджет рассчитывается также, как для диапазона 2600 МГц. Отличия для диапазона 800 МГц заключаются в меньшем коэффициенте усиления антенны БС (15 дБ вместо 18 дБ) и в меньших потерях на проникновение в здание (в среднем их принимают на 3 дБ меньше).

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_9_full819x225.jpg)

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_10_full531x459.jpg)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Благодаря лучшим свойствам распространения радиоволн в низкочастотном диапазоне 800 МГц площадь сайта увеличивается примерно на порядок по сравнению с диапазоном 2600 МГц, соответственно, при использовании диапазона 800 МГц сайтов требуется на порядок меньше для закрытия той же территории.

Если строить сеть только в низкочастотном диапазоне, то для достижения требуемой емкости сети при высокой плотности абонентов придется устанавливать сайты близко друг к другу. При очень плотной расстановке сайтов их зоны радиопокрытия неизбежно перекрываются (для сети LTE, работающей с коэффициентом переиспользования частот 1, это очень критично), увеличивается уровень внутрисистемных помех и ухудшается пропускная способность. И, наоборот, если работать только в высокочастотном диапазоне, то неизбежно возникают проблемы с радиопокрытием.

Идея иерархической сети не нова. Для достижения баланса между покрытием и емкостью целесообразно использовать не менее двух иерархических уровней, работающих в высоком и низком диапазонах частот, причем на разных уровнях могут использоваться разные радиотехнологии.

**К вопросу об объединении операторов**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Итак, мы показали, что разворачивать макро-сеть только в высокочастотном диапазоне – задача неблагодарная, поскольку обеспечить нормальное радиопокрытие в этом случае затруднительно. А «дырявое» или недостаточно глубокое радиопокрытие воспринимается абонентами как низкое качество предоставляемых оператором услуг.

Операторам беспроводного широкополосного доступа, не имеющим сотовых активов, приходится строить инфраструктуру радиодоступа практически с нуля, вкладывая в развитие сети огромные средства. А в густонаселенных районах эти проблемы еще усугубляются недостаточным количеством площадок, пригодных для установки БС. Все потенциальные сайты уже заняты сотовыми операторами, арендодатели с большим скрипом идут на установку нового оборудования и новых антенн.

Все мы видим ежедневно, перемещаясь по городам и весям, вышки и крыши домов, увешанные множеством «железок». Обилие антенн, выставленных на всеобщее обозрение, не добавляет красоты нашим каменным джунглям.



Естественный выход из этой ситуации – совместное использование существующей инфраструктуры несколькими операторами, а также ее расширение. Объединение операторов может мотивироваться также возможностью объединения их частотных ресурсов, что мы, вероятнее всего, будем наблюдать в случае консорциума операторов на базе «Скартел».

Оценим емкость сети LTE FDD в мегаполисе при наличии пары полос 10+10 МГц и при переиспользовании 1500 сотовых площадок. Исходя из Табл. 3, суммарная пропускная способность такой сети в направлении к абоненту составит *R*NW = 50,7 x 1500 = 76000 Мбит/с. При расчете числа абонентов будем ориентироваться на тарифы сети LTE Telia Sonera (Швеция): максимальный объем трафика абонента в месяц – 30 Гбайт.

Изм.

Лист

№ докум.

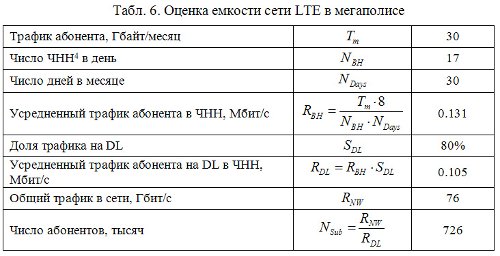
Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_12_full732x375.jpg)

ЧНН - час наибольшей нагрузки

Примерно такой сценарий использования сети LTE можно предположить для Москвы. Полученная расчетная емкость в 726 тыс. абонентов явно недостаточна для сети широкополосного доступа в мегаполисе с населением более 12 млн. человек. Для того, чтобы удовлетворить ожидания всех пяти операторов, входящих в консорциум, требуется большая емкость, а, значит, больший частотный ресурс.

Вероятно, что для других перспективных операторов LTE, нацеленных на применение TDD-версии (в диапазонах выше 2 ГГц), также придется подумать об альянсах с сотовыми операторами. И для них это даже более актуально ввиду технологических ограничений LTE TDD по дальности связи по сравнению с LTE FDD.

Еще один момент, на который хотелось бы обратить внимание: так ли необходимо создавать «ковровое» покрытие в сети в высокочастотном диапазоне. При наличии у оператора (или у союза операторов) нескольких диапазонов частот, гораздо разумнее полагаться на ковровое покрытие, например, с использованием 3G в диапазонах 900 или 2100 МГц, а LTE в более высоких диапазонах разворачивать точечно в зонах с высокой плотностью абонентов, используя не макро-, а микро- и пико- базовые станции.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**Описание места проектирования сети сотовой связи**

**Барабинский район**

Территория района общей площадью 5358 кв. км расположена в юго-западной части Новосибирской области на расстоянии 337 км от областного центра г. Новосибирска. Протяженность района с севера на юг составляет 84 км и с запада на восток - 102 км.

Район образован в 1925 в составе Барабинского округа Сибирского края, с 1930 в составе Западно-Сибирского края. В 1937 район был включен во вновь образованную Новосибирскую область.

Климат. Климат района континентальный: здесь холодная, продолжительная зима и теплое, но короткое лето. Разница между самой высокой и самой низкой температурой воздуха на территории района - 82°С. Количество осадков неодинаково в разные времена года.

Среднемесячная температура воздуха на территории района в июле, по многолетним наблюдениям, составляет 17,5-20,0°С. В дневные часы она превышает 20°С, достигая в отдельные годы предельных значений 36-40°С.

Зимние температуры воздуха по всей территории района отрицательные и составляют в январе -18,2...-20,3°С. Самые низкие температуры отмечаются в декабре, январе и достигают в отдельные годы -40...-50°С.

Рельеф. Рельеф Барабинского района равнинный. Район целиком расположен в пределах Барабинской низменности (Барабы) с высотами 90-150 м.

Общие сведения. Административный центр района - г. Барабинск, с числом жителей 29895 человека, является крупным железнодорожным узлом на Транссибирской магистрали и имеет для страны большое экономическое значение. По территории района проходят автомобильные транспортные артерии: федеральная трасса "Байкал" и областная дорога "Здвинск-Северное"

Барабинский район включает в себя 51 населенных пункта, объединенных в 12 муниципальных образований, в том числе 11 сельских поселений и г. Барабинск. Район обладает достаточными возможностями для развития экономики - природоресурсным, трудовым, производственным потенциалом. Барабинский район по специализации относится к территории со смешанным типом производства: промышленность и сельское хозяйство. Численность населения района на 01.01.2014 года составила 43351 человека.

На протяжении последних лет численность населения постоянно снижается. 67,0 % населения района проживает в г. Барабинске, остальное население (33,0 %) - сельское. Самыми крупными населенными пунктами после районного центра, являются с. Таскаево (835 жителей), с. Новочановское (867 жителей), с. Зюзя (624 жителей). На территории района 12 населенных пунктов относятся к категории "малых сел", так как имеют численность жителей менее 100 человек.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**Проектирование будет производиться на базе вышек (БС) Flexi Multiradio**



Радиомодуль с 3 приемопередатчиками, изображенный на Рис. 9, может обслуживать три сектора с поддержкой в каждом секторе 6 несущих GSM, 4 несущих WCDMA, или нескольких каналов LTE c суммарной шириной 20 МГц. Радиомодуль может работать в смешанном режиме GSM/WCDMA/LTE. Кроме того, радиомодуль может поддерживать радиоканалы, принадлежащие разным операторам, реализуя концепцию «Network Sharing».

Базовая станция Flexi Multiradio состоит из двух основных элементов: системный модуль для цифровой обработки сигналов и радиомодуль с тремя приемопередатчиками. В минимальной конфигурации трехсекторная базовая станция выполняется из этих двух модулей, см. Рис. 8.

[](http://www.mforum.ru/cmsbin/2011/21/20110520_15_full600x285.jpg)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

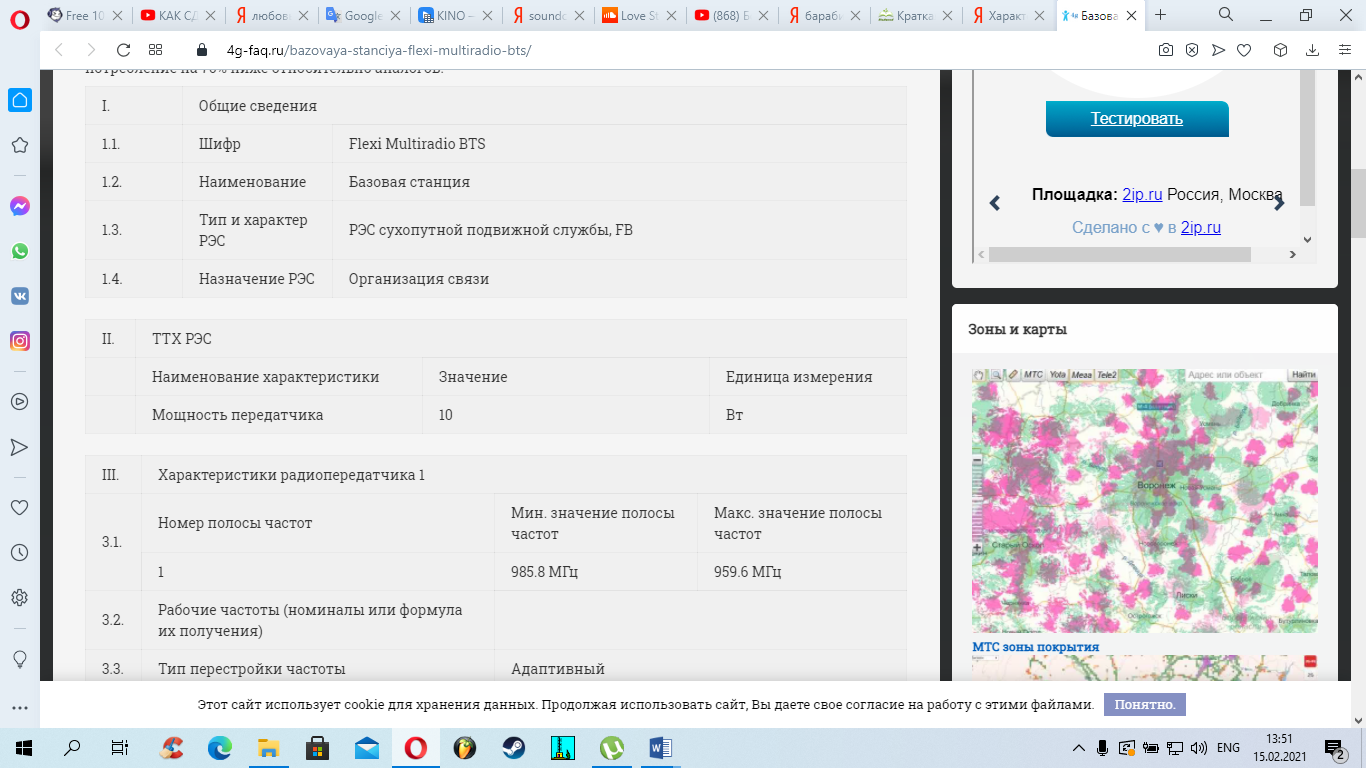
1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Системный модуль Flexi Multiradio обеспечивает поддержку до 6 радиомодулей, частотные каналы которых могут принадлежать разным операторам.

Таким образом, БС Flexi Multiradio являются идеальным решением для сетей, совместно используемых несколькими операторами, с реализацией технологий GSM/ WCDMA/ LTE FDD/ LTE TDD.

**Характеристики Flexi Multiradio**



Изм.

Лист

№ докум.

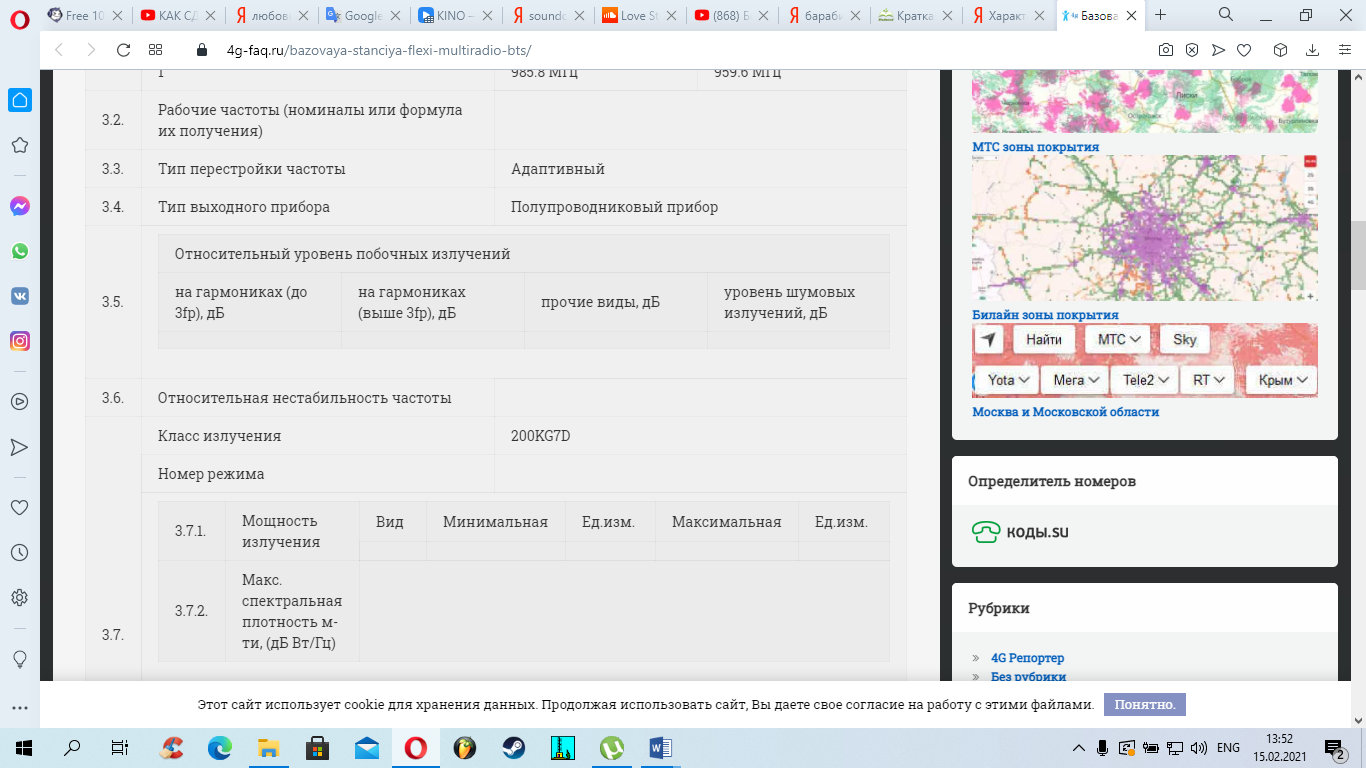
Подпись

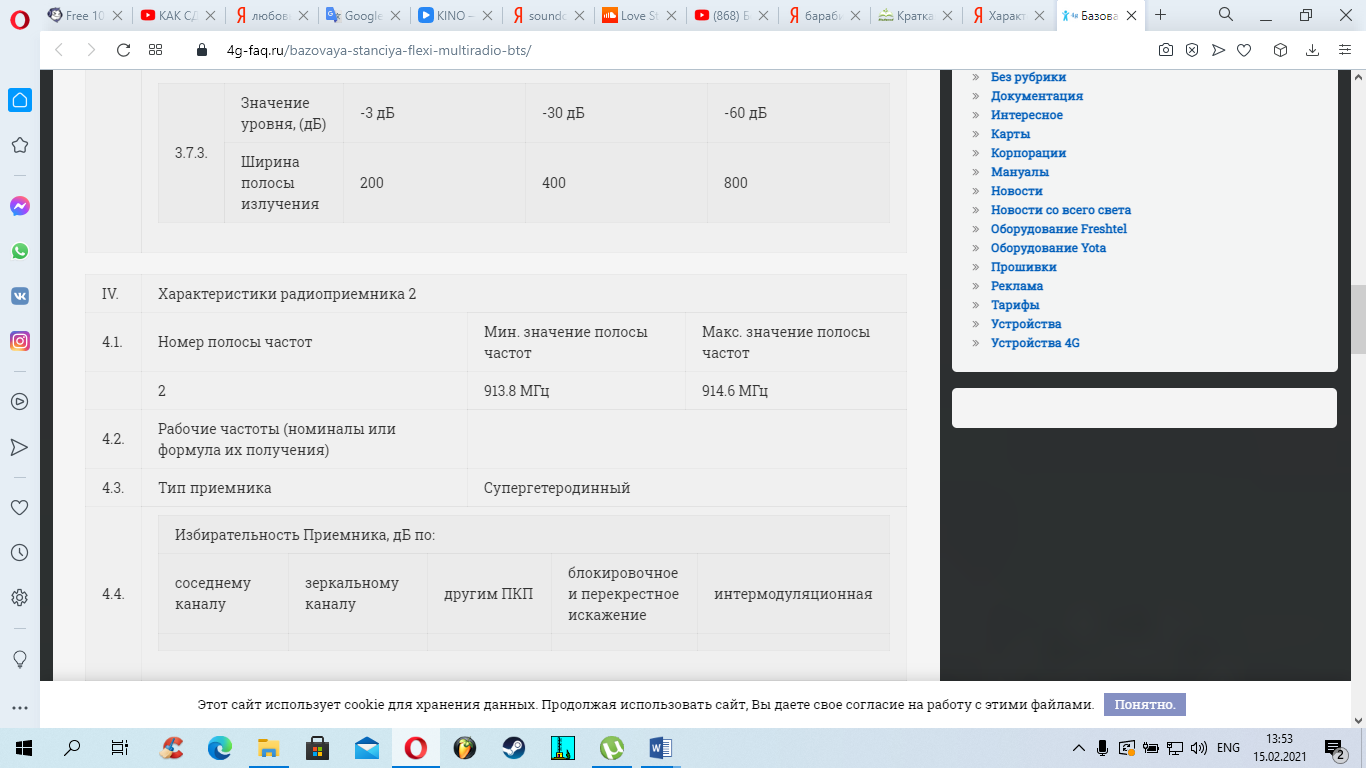
Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА





Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

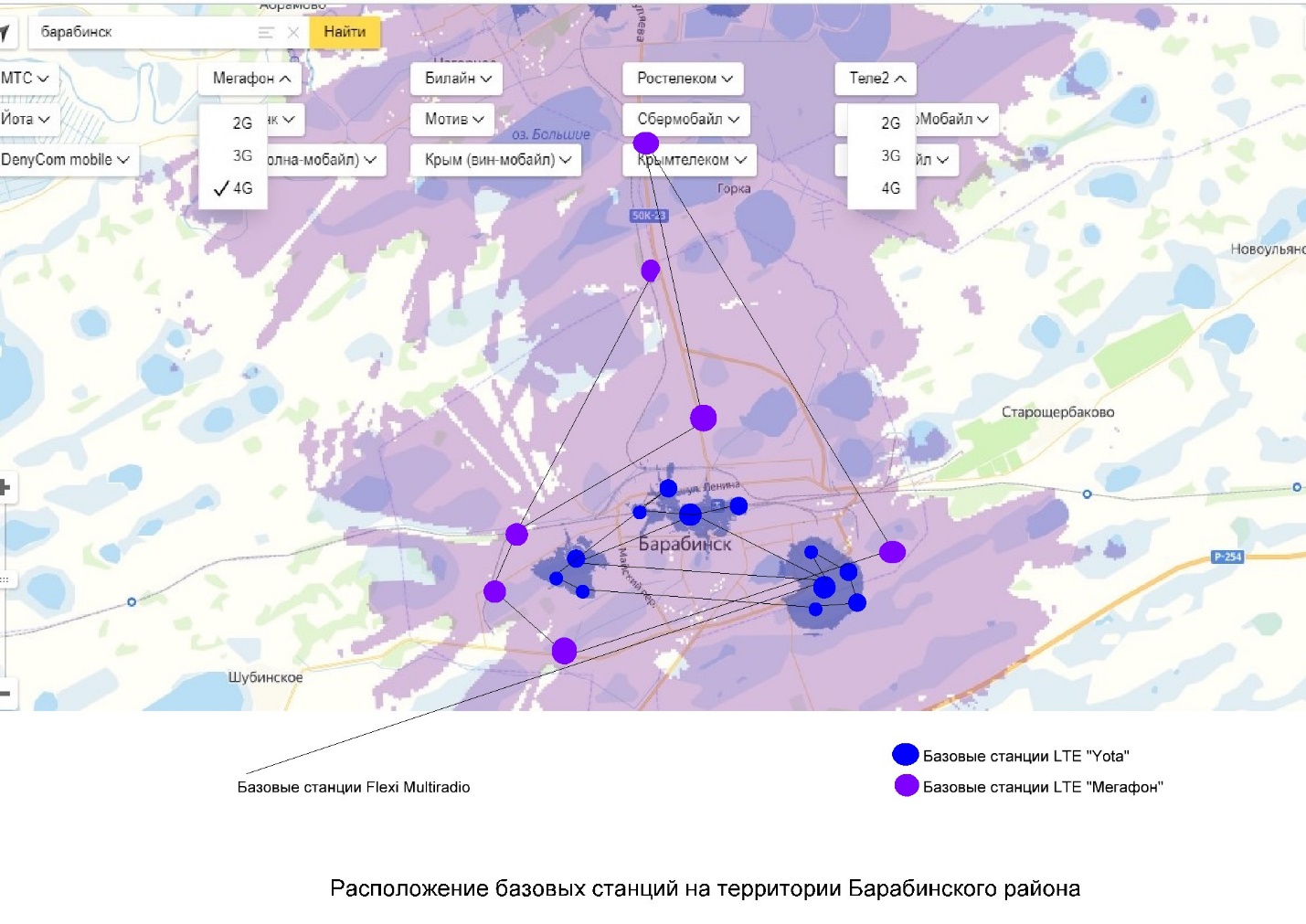
Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**Расположение базовых станций на территории Барабинска**



**Расчет нагрузки на проектируемую сеть**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Год | | | | |
| 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2020 |
| Число абонентов, тыс.чел. | 29 714 | 29 530 | 29 307 | 29 122 | 28 704 |
| Нагрузка в сети, Эрланг | 4754,2 | 4724,8 | 4689,1 | 4657,9 | 4592,6 |
| Нагрузка в сети с учетом запаса на хэндовер, Эрланг | 5229,6 | 5197,28 | 5158,01 | 5123,69 | 5051,86 |
| Количество каналов трафика | 5617 | 5582 | 5540 | 5503 | 5426 |
| Количество каналов управления | 1404 | 1395 | 1385 | 1376 | 1356 |
| Количество приемопередатчиков | 878 | 872 | 866 | 860 | 848 |

G = 0.015+0.001\*1= 0.016(Эрл) - удельная нагрузка одного абонента.

Нагрузка в сети:

29 714\*0.016 = 4754,2

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

29 530\*0.016 = 4724,8

29 307\*0.016 = 4689,1

Учитывая запас на хэндовер, нагрузка в сети увеличивается на 10%.

4754,2\*0.1 = 475,4

4754,2 + 475,4 = 5229,6

4724,8\*0.1 = 472,48

4724,8 +472,48 = 5197,28

4689,1\*0.1 = 468,91

4689,1 + 468,91 = 5158,01

С помощью формулы Эрланга для полнодоступных пучков при заданной нагрузке и вероятности блокировки определяется число каналов трафика:

186.2/200 = 0.931

5229.6/0.931 = 5671

Количество каналов управления:

5229.6/0.931/4 = 1404

5197.28/0.931/4 = 1395

Количество приемопередатчиков:



5617+1404/8 = 877.625 (878)

5582+1395/8 = 872.125 (872)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**Расчет необходимого количества оборудования проектируемой сети**





|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера БС в кластере (зависит от размерности кластера) | Частотные каналы диапазона 900 | Если количество каналов одного диапазона на 1 БС более одной согласно расчетов |  | Частотные каналы диапазона 1800 | Если количество каналов одного диапазона на 1 БС более одной согласно расчетов |  |
| 1 БС | F1 | F10 | F19 | F10 | F10 | F19 |
| 2 БС | F11 | F20 | F29 | F11 | F20 | F29 |
| 3 БС | F21 | F30 | F39 | F21 | F30 | F39 |
| 4 БС | F31 | F40 | F49 | F31 | F40 | F49 |
| 5 БС | F41 | F50 | F59 | F41 | F50 | F59 |
| 6 БС | F51 | F60 | F69 | F51 | F60 | F69 |
| 7 БС | F61 | F70 | F79 | F61 | F70 | F79 |
| 8 БС | F71 | F80 | F89 | F71 | F80 | F89 |
| 9 БС | F81 | F90 | F99 | F81 | F90 | F99 |
| 10 БС | F91 | F100 | F109 | F91 | F100 | F109 |
| 11 БС | F101 | F110 | F119 | F101 | F110 | F119 |
| 12 БС | F111 | F120 | F129 | F111 | F120 | F129 |
| 13 БС | F121 | F130 | F139 | F121 | F130 | F139 |
| 14 БС | F131 | F140 | F149 | F131 | F140 | F149 |
| 15 БС | F141 | F150 | F159 | F141 | F150 | F159 |
| 16 БС | F151 | F160 | F169 | F151 | F160 | F169 |
| 17 БС | F161 | F170 | F179 | F161 | F170 | F179 |
| 18 БС | F171 | F180 | F189 | F171 | F180 | F189 |
| 19 БС | F181 | F190 | F199 | F181 | F190 | F199 |

Коэффициент повторного использования - k, определяющий размер кластера сети:

K = 10

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**Необходимое количество оборудования по этапам развития сети**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип оборудования | Год | | | | |
| 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2020 |
| Приемопередатчики (TRX) | 878 | 872 | 866 | 860 | 848 |
| Комбайнеры (CDU) | 878 | 872 | 866 | 860 | 848 |
| BTS (900) | 292 | 290 | 288 | 286 | 282 |
| BTS (1800) | 878 | 872 | 866 | 860 | 848 |
| BSC | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MSC | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

878/3 = 292

878/1= 878

**Результаты расчетов радиуса соты**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Площадь области, км2 | Число сот | Площадь подобласти, км2 | Средний радиус, км |
| Диапазон 900 | 69 500 | 295 | 235.59 | 113.77 |
| Диапазон 1800 | 69 500 | 878 | 79.15 | 30.46 |

**Определение дальности связи**



Мощность передатчика Ptr = 10 Вт

Коэффициент усиления Ga = 13.5

Bc = - 7.3 Дб

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

Pизл = 16.2

.



120.2-3-0+0 = 117.2

Pr = 117.2

Pa = -117.2– 3 = -120.2 дБ

Pa = - 110.2



Ld = 16.2-110.2 = -94

Ld = -94

|  |  |
| --- | --- |
| для города | *a(hm) = [1.1 log(f)-0.7]hm-[1.56 log(f)-0.8]* |
| *K0= 0* |

* 1. log(800) – 0.7)\*10 – (1.56 log(800) – 0.8) = -7.53

*d = 1,3,5,7,8,9,11*

*f для 900 МГц = 913.8*

*f для 1800 МГц = 1813.8*

*Lp = -K1–K2 log(f)+13.82 log(hb)+a(hm)-[44.9-6.55 log(hb)] log(d)-K0*

Lp = -69.55 – 26.16log(913.8) + 13.82 log (40) + (-7.53) – (44.9 - 6,55 log (40)) log (1) = -132.3

Lp ( 900) = -132.3; -148.8; -156.4; -161.4; -163.4;-165.22;-165.2

Lp = -46.3 – 33.9log(1813.8) + 13.82 log (40) +(-7.53) – (44.9 - 6,55 log (40)) log (1) = -142.1

Lp (1800) = -142.1; -158.5; -166.2; -171.2; -173.2; -174.9; -177.9

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**Заключение**

Моделирование необходимо для того чтобы оптимально разместить оборудование обеспечить устойчивую и гарантированную работу сети в данной местности, выполняется в специализированных программах в которой можно задать возможные препятствия и в дальнейшем способствует предотвращению перемещения или изменению уже установленных точек доступа, улучшить покрытие путем конфигурирования настроек. Данные исследования позволяют выполнить полное проектирование сетей объекта, получить полную и оптимизированную спецификацию оборудования, провести дальнейшее проектирование и полного комплекса ИТ-инфраструктуры.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА

**Список литературы**

http://masters.donntu.org/2014/fknt/maximenko/diss/index.htm

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА