**Лекция № 6.**

**Частотно-территориальное планирование сетей радиосвязи**

Важнейшим этапом проектирования сетей радиосвязи является процесс частотно-территориального планирования. В ходе планирования выбираются структура сети, места размещения базовых станций, рассчитывается зона покрытия, оценивается возможность получения полос радиочастот, разрабатывается частотно-территориальный план назначения каналов для базовых станций, выполняется адаптация плана к условиям частотных ограничений со стороны спецслужб, формируются зоны обслуживания и оцениваются внутрисистемные помехи. При планировании также проверяется внешняя электромагнитная совместимость проектируемой сети с радиоэлектронными срествами других систем и возможность обеспечения требуемой ёмкости сети для обслуживания с заданным качеством.

**Потенциальным заказчикам мы предлагаем услуги** по разработке частотно-территориальных планов сетей радиосвязи следующих стандартов: GSM/GSM-R; Wi-Fi; WiMAX; LTE; TETRA; APCO-25; UMTS; cdma2000.

При выполнении частотно-территориального планирования сетей радиосвязи мы решаем следующие задачи:

1. Определение зоны обслуживания сети из анализа распределения предполагаемых абонентов, оценки создаваемой ими нагрузки и доступных финансовых средств.
2. Выбор мест установки базовых станций на базе расчетов.
3. Расчет коэффициента повторного использования частот и разработка частотного плана.
4. Контрольное измерение зон обслуживания.
5. Оптимизация сети в процессе эксплуатации.

**6.1 Подвижная радиосвязь**

Важнейшим этапом проектирования сетей широкополосного беспроводного доступа является процесс частотно-территориального планирования. В ходе планирования выбираются окончательная структура (конфигурация) сети, места размещения базовых станций, рассчитывается возможность обеспечения радиопокрытия с заданным качеством связи, разрабатывается частотный план распределения радиоканалов для базовых станций, выполняется адаптация плана к условиям территориальных и частотных ограничений проектируемой зоны обслуживания, формируются зоны обслуживания для каждой базовой станции и сети в целом, оцениваются и минимизируются внутрисистемные помехи. Часто при планировании проверяется внешняя электромагнитная совместимость планируемой системы с РЭС других систем и возможность обеспечения требуемой емкости сети для обслуживания абонентской нагрузки.

С использованием специлизированного программного обеспечения и цифровых карта местности мы квалифицированно выполняем частотно-территориальное планирование сетей подвижной радиосвязи различных стандартов, включая DECT, TETRA, GSM, cdma2000, UMTS/HSPA+, WiMAX и LTE.

Основные этапы частотно-территориального палнирования сетей подвижной радиосвязи включают в себя:

**1. Разработка требований к исходным данным**

В техническом задании на выполнение ЧТП должно быть указано:

* тип абонентов, работающих, внутри помещений и вне помещений (процентное соотношение);
* плотность абонентов на единицу площади или плотность трафика на единицу площади;
* потребность абонентов в скорости трафика (процентное соотношение);
* тип передаваемого трафика;
* объем выделенного для развертывания сети радиочастотного ресурса;
* ограничения на высоты подвеса антенн (антенных мачт).

**2. Расчет бюджета канала связи**

На первом этапе частотно-территориального планирования сети беспроводного широкополосного доступа производится расчет бюджета канала связи для данного оборудования с целью определения максимально допустимых потерь в канале связи и первоначальной оценки радиуса зоны обслуживания. Расчет бюджета потерь проводиться для двух направлений: линии вниз (downlink) и вверх (uplink), а в качестве результирующего значения выбирается минимальное из рассчитанных значений.

**3. Выбор структуры кластера сети**

В зависимости от объема радиочастотного ресурса, выделенного оператору сети беспроводного широкополосного доступа возможны различные варианты построения топологии радиочастотного кластера. Возможные варианты структуры кластера для трехсекторных сайтов без использования частичного повторного использования частот приведены ниже.

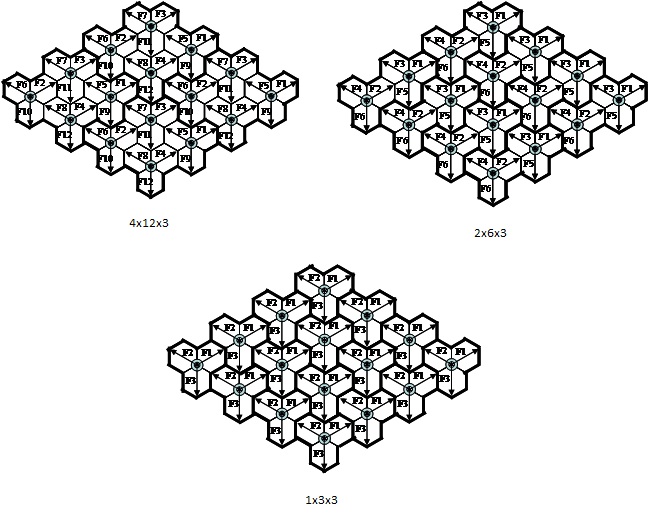


Рис. 1 – Структура кластера

**4. Расчет зоны покрытия по уровню принимаемого сигнала**

После того, как требования к функционированию сети сформулированы, выбраны кластерная структура и первоначальный частотный план, происходит проверка возможности размещения сайтов на выбранных местах.

Далее с использованием специализированного программного обеспечения выполняется расчет зоны радиопокрытия для направления передачи вниз (downlink) и вверх (uplink) раздельно.

В качестве инструмента прогнозирования потерь распространения радиоволн можно использовать различные статистические и квазидетерминистские математические модели распространения радиоволн. Среди них: ITU-R P.1546 , P.1812, P.526, Cost Hata, Lonley-Rice, SUI, SPM и WLL.

**5. Расчет внутрисистемных интерференций**

После расчета зоны покрытия по уровням принимаемого сигнала мы проводим анализ внутрисистемной электромагнитной совместимости (ЭМС) для принятой структуры сети.

Провести анализ внутрисистемной электромагнитной совместимости сети ШБД можно двумя способами:

* рассчитать с использованием модели МСЭ-R P.452 зоны помех от базовых станций абонентским станциям, базовым станциям на которых назначены те же рабочие частоты; провести те же вычисления, только за источник помех принять абонентские станции, а за рецептор помех – базовые станции;
* рассчитать с использованием специализированного программного обеспечения зоны покрытия по уровням C/(I+N) - "сигнал/помеха"для направлений передачи downlink и uplink.

**6. Планирование зон хэндовера**

Работа мобильной широкополосной сети при перемещении абонентов из зоны покрытия одной базовой станции в другую обязательно предусматривает выполнение процедуры хэндовера. Возможны два варианта технической реализации хэндовера в оборудовании: мягкий и жесткий. Мягкий хэндовер представляет собой переключение абонентской станции с одной базовой станции на другую, причем разрыв соединения с первой базовой станцией происходит после установления связи абонентской станцией со второй базовой станцией. Жесткий хэндовер характеризуется потерей соединения абонентской станции и первой базовой станции, после чего устанавливается соединение абонентской станции со второй базовой станцией.

Для четкой отработки процедуры хэндовера необходимо выполнить планирование зон хэндовера между зонами покрытия соседних секторов. Планирование в данном случае заключается в уменьшении излишнего перекрытия соседних зон покрытия при сохранении формы зоны радиопокрытия отдельных секторов.

**7. Расчет качественных показателей покрытия сетей подвижной радиосвязи**

На заключительном этапе планирования сети подвижной радиосвязи производиться расчет ее качественных параметров функционирования и представляется в виде карты покрытия, наложенной на зону обслуживания по выбранному критерию.

К основным показателям качества работы мобильной беспроводной сети относятся: скорость передачи данных и коэффициент битовой ошибки (каждый из параметров рассчитывается раздельно для направлений downlink и uplink) .

**6.2. Фиксированная радиосвязь**

Расчет радиорелейных линий в режиме «точка - точка» в диапазоне частот 100 МГц – 100 ГГц с учетом географических и климатических факторов по показателям качества и готовности.

* Расчет линий и сетей фиксированного беспроводного доступа (ФБД) в режимах «точка - точка» и «точка - многоточка» для частотного и временного дуплекса в любых частотных диапазонах.
* Построение и анализ профиля местности для городских и загородных условий на основе ЦКМ векторных и растровых форматов, топографических карт и спутниковых снимков Земли.
* Рекомендации по высотам антенных опор и оборудованию.

Производится расчет как линий прямой видимости (открытых), так и линий с дифракционными потерями (полуоткрытых и закрытых). Учитываются условия возникновения замираний (гладких и частотно-селективных) вследствие многолучевого распространения радиоволн и субрефракции, поглощения и рассеяния в осадках. Учет частотно-селективных замираний (на основе метода сигнатуры) позволяет производить расчеты для линий со скоростями до 155 Мбит/с.

Расчет потерь на полуоткрытых и закрытых трассах может осуществляться как в автоматическом режиме, так и в режиме ручной настройки модели рельефа. Для линий прямой видимости в ручном режиме предусмотрен детальный анализ условий возникновения отражений от подстилающей поверхности с учетом ее проводимости, диэлектрической проницаемости, неровности и пространственного положения участка отражения. Возможен как ручной ввод, так и автоматическое определение проводимости и диэлектрической проницаемости по типу подстилающей поверхности, а также географических и климатических параметров для заданных координат мест размещения станций. Расчет может осуществляться с использованием нескольких вариантов ввода данных по рельефу:

* импорт профиля с цифровых карт стандарта SRTM;
* импорт профиля, полученного в других ГИС;
* построение профиля с использованием встроенной электронной линейки, позволяющей вводить данные по рельефу (отсчетов расстояний и высот, а также растительности, местных предметов и водной поверхности) с отсканированных листов обычных топографических карт, отсчет расстояний при этом выполняется автоматически;
* ручной ввод в табличном виде.

Проведение расчетов обеспечивается для любой конфигурации современного радиорелейного оборудования, включая поддержку расчетов для случаев:

* пространственного разнесения,
* частотного разнесения,
* пространственно-частотного и углового разнесения,
* а также передачи на ортогональной поляризации.

**Основные результаты расчета:**

* показатель качества по ошибкам в периоды готовности линии (SESR,%) и его составляющие (гладкие и частотно-селективные замирания) для углового, пространственного, частотного и пространственно-частотного разнесения;
* показатель неготовности (Кнг, %);
* медианный уровень высокочастотного сигнала на входе приемника;
* запас уровня высокочастотного сигнала на входе приемника;
* постоянные составляющие потерь на трассе и др.

**GSM-R**

GSM-R – это современный международный стандарт профессиональной связи для железной дороги. В рамках данного стандарта предусмотрено использование единых полос частот для разных стран. Сеть GSM-R представляет комплексные решения для выполнения функций голосовой связи, автоматизации движения поездов, передачи служебной информации и обеспечения безопасности движения. Таким образом, внедрение сети данного стандарта интегрирует систему железнодорожной связи страны в единую мировую систему связи, что особенно важно при международном сообщении. Качественная голосовая связь повысит эффективность работы персонала, уменьшит текущие расходы на эксплуатацию несовместимого оборудования связи. Автоматизация движения поездов повысит пропускную способность железной дороги и эффективность использования железнодорожных путей. В целом же внедрение системы повысит безопасность и эффективность железнодорожного сообщения, уменьшит количество аварийных ситуаций и увеличит доходы. GSM-R обладает существенными преимуществами по сравнению с аналоговыми системами связи и стандартом TETRA, поскольку разрабатывался специально как единый стандарт связи для железных дорог и учитывает все особенности и требования связи для железнодорожных дорог.



Рис. 2 – Платформа GSM-R

Первоочередным видом связи в сети стандарта GSM-R является связь с машинистом поезда. Для организации данного вида связи на крыше локомотива устанавливается антенна, а в кабине машиниста устанавливается локомотивный терминал. В качестве персонального средства связи для работников железных дорог выступает мобильный телефонный аппарат GSM-R. Решения GSM-R включает в себя оборудование опорной сети коммутации каналов (коммутатор с распределенной структурой для обслуживания голосовых вызовов) и коммутации пакетов (коммутатор и шлюз для предоставления сервиса GPRS), оборудование сети радио доступа (контроллер базовых станций и базовые станции), терминальное оборудование (мобильные телефоны стандарта GSM-R) и подсистему управления. Ниже приведена архитектура сети GSM-R.

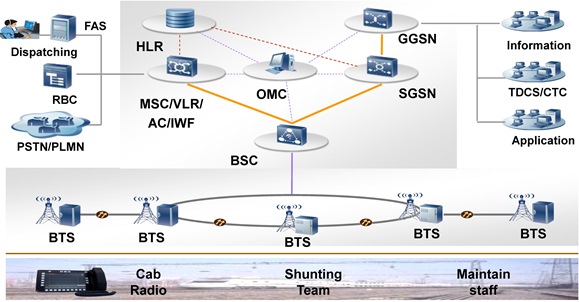


Рис. 3 - Архитектура сети GSM-R.

За основу стандарта GSM-R взят стандарт подвижной радиосвязи общего пользования GSM, дополненный функциями для железных дорог в соответствии со спецификациями проекта EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network):

* передача сигнализации ETCS (European Train Control System);
* голосовая радиосвязь и передача данных в условиях движения со скоростями до 450 км/ч;
* наличие функции группового вызова;
* управление приоритетами вызовов и механизм срочного вызова;
* наличие функциональной адресации в зависимости от местоположения абонента;
* использование специально выделенных полос радиочастот.

Широкие функциональные возможности GSM-R и высокие скорости движения поездов накладывают жесткие требования к качеству покрытия, ЭМС, времени хэндовера и другим техническим параметрам. Так, согласно EIRENE, на входе локомотивного приемника рекомендуется с вероятностью 95% обеспечить уровень мощности сигнала не менее -92 дБм на линиях с ETCS 2/3 уровня при скорости движения поезда до 280 км/ч. Вероятность блокировки вызовов согласно EIRENE должна быть не более 0.5%. Процедуры хэндовера должны выполняться с вероятностью не менее 99.5%

**На этапе проектирования сетей GSM-R решаются следующие задачи:**

* обследование и выбор мест для размещения сайтов сети GSM-R;
* расчет зон обслуживания для локомотивных и мобильных станций;
* расчет распределения абонентской нагрузки на железнодорожных перегонах по проектируемым сайтам;
* расчет внутрисистемных помех и разработка частотно-территориального плана.

**6.3. РАБОТА С WI-FI**

**Для грамотного планирования необходимо:**

* сформировать технические требования;
* выбрать оборудование Wi-Fi;
* выполнить предпроектное обследование (измерение уровня интерференций и преварительной зоны радиопокрытия);
* провести проектирование сети;
* выполнить монтажные и пусконаладочные работы;
* выполнить контрольные измерения зоны радиопокрытия;

**При проектировании сетей Wi-Fi решаются следующие основные задачи:**

**1. Формирование технических требований:**

* для абонентских устройств (количество беспроводных абонентов, плотность их размещения, интенсивность трафика, тип трафика);
* по типу установки сети (планировка помещений, тип строительных материалов, меcта подключения);
* по требованиям безопасности;
* по топология сети (централизованная/децентрализованная);
* особенности частотного планирования (ограничения, накладываемые характеристиками оборудования, учет других РЭС, совместно использующих полосу радиочастот, а также ограничений, накладываемых радиочастотными органами).

**2. Выбор оборудования.**

Далее производиться подбор оборудования в соответствии с необходимостью обеспечения определенных услуг:

* обеспечение стандартной пропускной способности (54 Мбит/с на точку доступа) с качеством коллизионного доступа абонентов к среде передачи
* традиционное оборудование Wi-Fi стандартов IEEE 802.11 b/g;
* обеспечение максимально возможной в локальных беспроводных сетях пропускной способности (до 600 Мбит/с на точку доступа) за счет использования расширенных до 40 МГц радиочастотных каналов и технологии сложных антенных систем MIMO – оборудование стандарта IEEE 802.11n;
* обеспечение требуемого качества предоставляемых услуг – оборудование стандарта IEEE 802.11e;
* cоздание самоконфигурирующейся ячеистой сети в соответствии с технологией MESH – оборудование стандарта IEEE 802.11s;
* cоздание универсальной и совместимой системы роуминга для предоставления мобильному пользователю возможности перехода из зоны обслуживания одной сети в другую – оборудование стандарта IEEE 802.11r.

**3. Рабочее проектирование**(план размещения сетевого оборудования, результаты частотного планирования и измерения/моделирования зон покрытия сети, монтажная документация и др.)

**4. Монтажные и пусконаладочные работы.**

**5. Контрольное измерение зоны радиопокрытия.**.

**6. Ввод беспроводной сети в эксплуатацию.**

**6.4. Основные этапы планирования сети GSM**

Планирование – это постоянный процесс, развивающийся от начальной фазы и продолжающийся по мере расширения и развития сети.

Основные этапы планирования.

1. *Формулирование требований к системе.*

Планирование начинают со сбора и анализа информации по требуемым трафику и покрытию территории. Для этого собирают следующие данные:

- планируемые затраты,

* объем услуг,
* покрытие территории,
* качество обслуживания (Grade of Service),
* частотный (канальный) ресурс,
* прогнозы развития сети.

Специальные данные о населении и о плотности трафика:

* плотность населения,
* распределение потоков машин,
* распределение населения по уровню доходов,
* использование различных участков территории,
* телефонная статистика,
* другие факторы, как-то: стоимость договоров, тарифов, цена абонентских станций и т.д.

1. *Разработка исходного плана сети.*

На основе данных о трафике и покрытии территории разрабатывают исходный план сети. План представляет собой расположение сот на карте местности. Это начальный план сотовой сети. Исходный план используют как основу для дальнейшего планирования и для участия в тендерах (вместе с планом предсказания покрытия территории).

1. *Экспериментальные исследования.*

На этом этапе выполняют радиоизмерения, размещая испытательную аппаратуру в тех точках, где она будет установлена.

1. *Разработка реального плана.*

По результатам измерений оптимизируют исходный план, определяют число BTS, BSC, MSC и места их размещения. В этом плане предусматривают все необходимые соединения внутри сети. План является исходным документом для развертывания сети. В дополнение разрабатывают документ, называемый сводными данными о сотах (Cell Design Data – CDD), содержащий для каждой соты все необходимые параметры.

1. *Развертывание системы.*

Установка оборудования, проведение испытаний (тестов).

1. *Настройка системы.*

После того, как система запущена, постоянно производят оценку ее характеристик и вносят необходимые изменения. В процессе настройки системы:

- проверяют состояние сети,

* собирают и анализируют жалобы клиентов,
* проверяют качество связи,
* вносят необходимые изменения.

По мере возрастания трафика и зоны покрытия сети требуется организация новых сот и изменение характеристик прежних, что делает процесс планирования бесконечным. Для примера приведены индивидуальные особенности планирования тех стандартов разных поколений ( 2G, 3G, 4G).

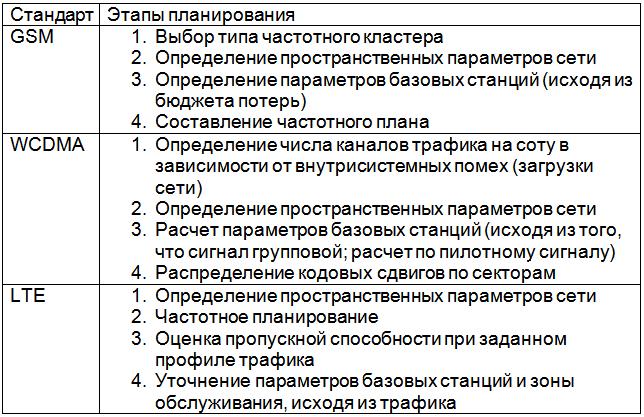
**

Рис. 4 .Этапы планирования и развёртывания сети.

**Частотно-территориальное планирование**

**Основные этапы планирования:**

1. ОЦЕНКА ОБЩЕГО ТРАФИКА.
2. ВЫБОР КЛАСТЕРА И НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ЧАСТОТ.
3. РАЗМЕЩЕНИЕ MSC, BSC И BTS НА МЕСТНОСТИ.
4. ВЫБОР АНТЕНН И ИХ РАЗМЕЩЕНИЕ.
5. ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРИ ПРИВЯЗКЕ К МЕСТНОСТИ.
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ЕДИНИЦ АППАРАТУРЫ И РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЙ (ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ).
7. РАСЧЕТ САНИТАРНЫХ ЗОН.
8. РАЗМЕЩЕНИЕ, МОНТАЖ АППАРАТУРЫ И ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.