

**Проектирование радиосетей  
СОТОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ  
(опорный конспект лекций)**

**доктор технических наук  
профессор  
Бабков Валерий Юрьевич**

**Санкт-Петербург  
2011 г.**

# **Рабочая программа дисциплины «Проектирование радиосетей сотовых систем связи»**

**Направление подготовки дипломированных специалистов 210400 – «Телекоммуникации» специальность 210402 – Средства связи с подвижными объектами. КАФЕДРА Радиопередающих устройств и средств подвижной связи. Семестр 9.**

**Всего часов по ГОС 90 час. Из них: - лекций  
45 час.**

**- лабораторных занятий 30 час.**

**- практических занятий 15 час.**

**- курсовой проект**

**- Экзамен - 9 семестр**

**• Базовые дисциплины:**

- 1. Устройства генерирования и формирования сигналов в системах подвижной связи.**
- 2. Системы и сети связи с подвижными объектами.**
- 3. Метрология, стандартизация и сертификация.**

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

- **Цель преподавания дисциплины** заключается в ознакомлении студентов с вопросами проектирования радиосетей подвижной связи.
- **Основной задачей дисциплины** является изложение принципов планирования сетей радиодоступа различных стандартов с использованием современных аппаратно-программных средств и электронно-цифровых карт местности.
- В связи с постоянным развитием новых технологий подвижной связи данный курс нуждается в ежегодной переработке рабочей программы

# **ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ**

## **СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**В результате изучения дисциплины студенты ДОЛЖНЫ ЗНАТЬ:**

- основы территориального, частотного и кодового планирования сетей подвижной связи
- методы построения и оптимизации сетей с использованием цифровых карт и программного продукта планирования.

**В результате изучения дисциплины студенты ДОЛЖНЫ УМЕТЬ:**

- определять основные характеристики оборудования действующих и перспективных систем подвижной связи,
- оценивать эффективность проектируемых и действующих сетей подвижной связи.

# СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Тема 1. Принципы построения системы частотно-территориального планирования(6ч).**

Введение, цели и задачи дисциплины. Назначение и задачи, решаемые с использованием системы частотно-территориального планирования.

Функциональная схема системы частотно-территориального планирования.

## **Тема 2. Принципы использования геоинформационных баз данных для решения задач частотно-территориального планирования(8ч).**

Определение геоинформационной системы (ГИС). Принцип создания ГИС. Характеристика цифровых карт местности. Структура геоинформационной системы для систем частотно-территориального планирования.

## **Тема 3. Частотно-территориальное планирование сотовых сетей(41).**

Постановка задачи ЧТП сотовой сети. Алгоритм ЧТП сотовых сетей с частотно-временным разделением каналов. Методики построения начального приближения и оптимизации сотовой сети с частотно-временным разделением каналов. Методы назначения частот в сотовых сетях подвижной связи.

## **Тема 4. Частотно-территориальное планирование транкинговых сетей(8).**

Постановка задачи ЧТП транкинговой сети. Алгоритм частотно-территориального планирования транкинговой сети. Методики построения начального приближения и оптимизации транкинговой сети.

## **Тема 5. Планирование сетей третьего поколения(12).**

Постановка задачи ЧТП сети. Алгоритм планирования сети. Методика построения начального приближения и оптимизации сети. Методы распределения кодов в сетях подвижной связи с кодовым разделением каналов.

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

- Подготовка цифровой модели местности в ГИС «НЕВА»
- Ознакомление с программным комплексом планирования сетей подвижной радиосвязи «OnegaPlan RPLS»  
Изучение методики территориального планирования сетей GSM с использованием программного комплекса «OnegaPlan RPLS»
- Изучение методики частотного планирования сетей GSM с использованием программного комплекса «OnegaPlan RPLS»
- Планирование сети CDMA в САПР «OnePlan RPLS CDMA»

**Всего часов: 30**

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

- Планирование сотовых сетей связи с частотно-временным разделением каналов.
- Разработка технического задания на курсовую работу

**Всего часов: 15**

## ТЕМЫ И КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

1. Планирование сетей стандарта GSM.
2. Планирование сетей стандарта IMT-MS.
3. Планирование сетей стандарта UMTS.

**Курсовой проект должен включать:**

- пояснительную записку, содержащую развернутое техническое задание;
- обоснование выбора архитектуры проектируемой сети и необходимые расчеты;
- частотно-территориальный план проектируемой сети.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

## ДИСЦИПЛИНЫ

- **Основная литература.**

- 1. Бабков В.Ю., Цикин И.А. Сотовые системы мобильной радиосвязи: / учебн. Пособие.-СПб.:Изд-во Политехн. Ун-та, 2011.-426 с.

- **Литература к лабораторным и практическим занятиям.**

- 1. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотнотерриториальное планирование. Учебное пособие для вузов.-2-е изд.,испр.-М.:Горячая линия\_Телеком,2007.-224 с.
- 2. Бабков В.Ю., Никитина А.В., Фокин Г.А. Проектирование радиосетей сотовых систем связи: методические указания к лабораторным и практическим занятиям: Часть 1. Сети GSM.-СПб.: Изд-во «Теледом» ГОУВПО СПбГУТ,2010.- 57 с.
- 3. Бабков В.Ю., Никитина А.В., Фокин Г.А.Планирование сетей мобильной связи с кодовым разделением каналов в системе автоматического проектирования Oneplan RPLS CDMA: методические указания к лабораторным работам и курсовому проектированию: СПбГУТ.-СПб., 2007-48 с.



## Дополнительная литература

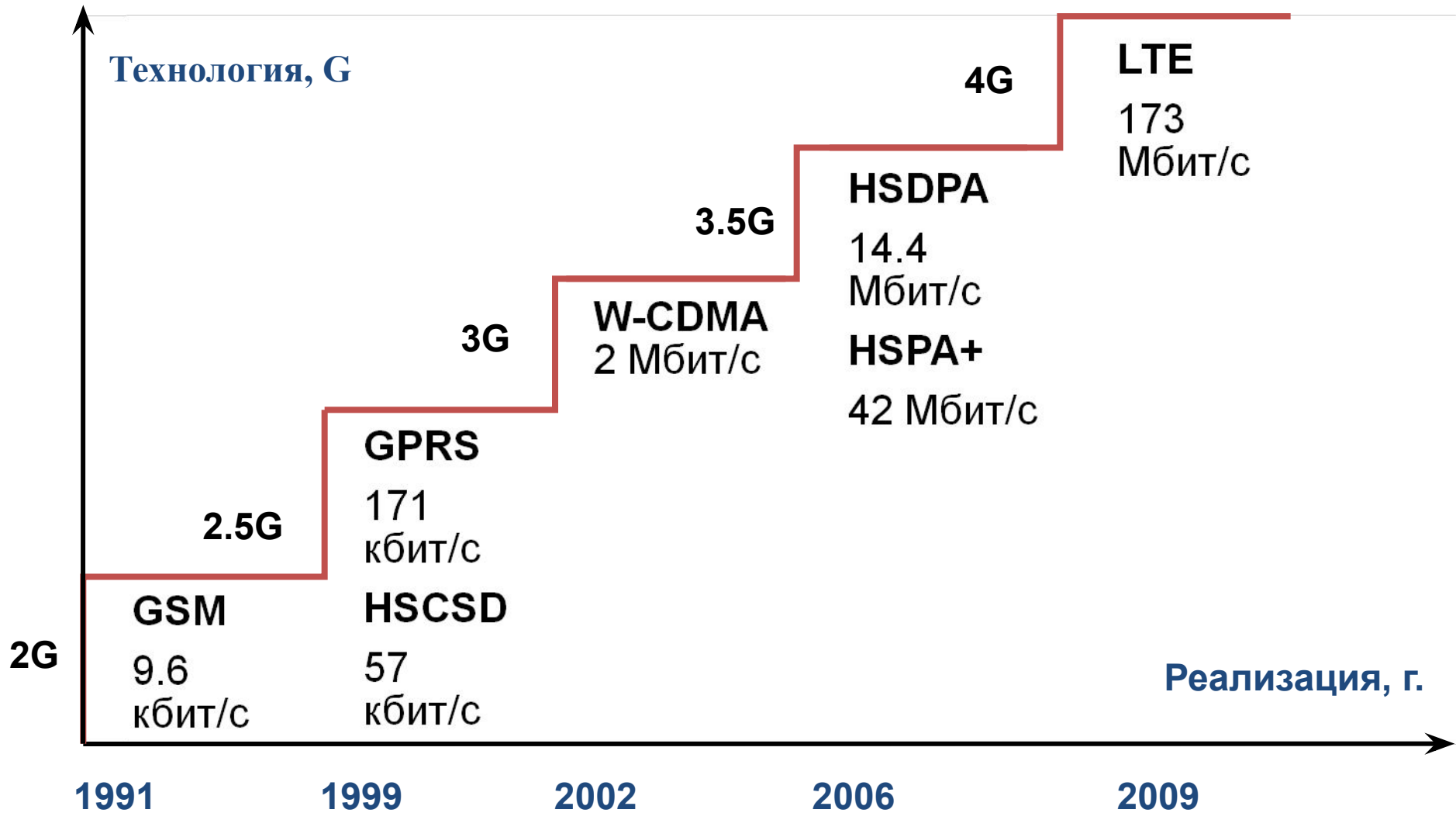
- 1. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи / Пер. с польск. И.Д.Рудинского; под ред.А.И.Ледовского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 536 с.
- 2. Бабков В.Ю., Полынцев П.В., Устюжанин В.И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление- М.: Горячая линия-Телеком, 2005.-160с.
- 3.UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения: Учебное пособие для вузов/ ВолковА.Н., Рыжков А.Е., Сиверс М.А.-СПб.: Издательство «Линк»,2008.-224с.
- 4.Голант Г.З. Мобильный Интернет в сетях CDMA 2000/ Под ред. проф. Бабкова В.Ю.- СПб: ИА « Энергомашиностроение», 2007.-134с.
- 5.Сети мобильной связи. Планирование, оптимизация, управление/ Под ред. Бабкова В.Ю., Степанца В.А.-СПб: ИА «Энергомашиностроение»,2007.-108с.
- 6.Милютин Е.Р. и др. Методы расчета поля в системах связи дециметрового диапазона. – СПб.: Триада, 2003.- 230 с.

# МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Учебная лаборатория «Средства подвижной радиосвязи»
2. Методические указания к лабораторным работам
3. Учебники и учебные пособия

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 210400 – Телекоммуникации, специальность – 210402 – Средства связи с подвижными объектами

# Системы сотовой связи



# Услуги сетей мобильной связи

| <b>Класс трафика</b>           | <b>Разговорный</b>   | <b>Потоковый</b>   | <b>Интерактивный</b>   | <b>Фоновый</b>                                |
|--------------------------------|--|--|------------------------|---|
| <b>Основные характеристики</b> | <b>Передача в реальном масштабе времени; низкая временная задержка; симметричность трафика</b> | <b>Сохранение временной зависимости между информационными составляющими потока</b> | <b>Ответ на запрос</b> | <b>Передача в произвольный момент времени</b> |
| <b>Примеры приложений</b>      | <b>Телефония, видеотелефония, видеоконференцсвязь</b>  | <b>Мультимедиа</b>   | <b>Интернет</b>        | <b>Электронная почта, SMS, MMS</b>            |

- *Разговорный класс.* Основным приложением этого класса является передача речи. Сюда входит и новая услуга сотовой связи IP телефония, передача которой критична к реальному масштабу времени.
- Разговор в режиме реального времени осуществляется всегда между равнозначными конечными пользователями и характеризуется низкой задержкой и симметричным трафиком.
- Максимальная задержка видео и речи должна быть не более 150-200 мс, и неточность в обеспечении задержки приводит к неприемлемому качеству услуги.

- *Потоковый класс.* Потокотые мультимедийные приложения требуют передачи равномерного и непрерывного потока данных. Данная технология важна при загрузке больших мультимедиа файлов. При потоковой передаче данных пользователь может начать отображение данных ещё до того, как файл будет принят до конца.
- Интернет-видеопродукты и сопутствующую медиаиндустрию можно разделить на сетевое вещание и потоковое видео.
- *Сетевое вещание* обычно производится на большую аудиторию пользователей, которые соединяются с интернетом через сервер сети мобильной связи.
- *Потоковое видео по запросу* в большинстве случаев предоставляется большими корпорациями, которые хранят видеоклипы на серверах, доступ к которым одновременно

- **Интерактивный класс.** Интерактивный (диалоговый) трафик характеризуется передачей данных пользователю в ответ на его запрос.
- **Фоновый класс.** К фоновому (низкоприоритетному) классу относятся передача электронной почты, SMS и MMS сообщений (англ. *Short Message Service* - служба коротких сообщений; *Multimedia Message Service* - служба мультимедийных сообщений), загрузка баз данных и получение данных, т.е. приложения, которые не требуют мгновенной активации, и задержка которых может составлять секунды и даже минуты.

- Примером таких (*фоновых*) услуг являются услуги, связанные с определением местоположения мобильного абонента (одно из новых направлений в сетях мобильной связи). Эти услуги обеспечивает оператор, который будет использовать доступную информацию о местонахождении абонентского терминала.

Знание местоположения пользователя позволит предлагать:

- «навигационные» услуги (предварительный заказ билетов и прием различных заказов с привязкой к текущему местоположению пользователя);
- справочную информацию, привязанную к текущему местоположению пользователя;
- соединение пользователя со службами обеспечения безопасности и службами экстренной помощи;
- биллинговые услуги, учитывающие местоположение источника и адресата информации и др.



- В последнее время быстро растет интерес к Web-вещанию через интернет. Характеристики и цены, наравне с мобильностью, обеспечивающей доступ к услугам из любого места, являются ключевыми факторами в конкурентной борьбе в секторах видео и аудиоразвлечений.
- Мобильность может открыть новые возможности разработчикам игр и поставщикам игровых услуг, предоставляя пользователям широкий выбор игр с любыми партнерами по всему миру.

- Через системы мобильной радиосвязи можно экономически эффективно предоставлять услуги в области дистанционного обучения в тех регионах, где прокладка фиксированных линий связи обойдется слишком дорого, например, в сельских районах с малой плотностью населения.
- Важным преимуществом здесь может оказаться способность систем обеспечить большую пропускную способность сети и поддержку интерактивности в сочетании с малыми затратами на создание инфраструктуры.
- Необходимо отметить также важную роль мобильной радиосвязи в реализации технологий групповой работы в сети, интенсивно развивающихся в условиях глобализованной экономики.

- Системы мобильной радиосвязи относятся к многоканальным системам массового обслуживания (СМО), которые обеспечивают услуги связи большому числу мобильных абонентов при ограниченном числе каналов на базовых станциях.
- По типу организации процесса обслуживания они относятся к СМО *с отказами* или *с очередями*.
- Процесс обслуживания в СМО характеризуется принятой дисциплиной обслуживания и отказа в обслуживании (блокировании вызова), средним временем ожидания в очереди и др.

- В СМО с отказами вызов (заявка), поступивший с абонентской радиостанции (заявка на обслуживание) в момент, когда все каналы заняты, получает отказ и теряется.
- В СМО с очередями в случае занятости каналов вызов ставится в очередь на обслуживание и ожидает, когда освободится хотя бы один канал. При этом в случае системы с ожиданием это время ничем не ограничивается (чистая система с ожиданием).
- В системах же смешанного типа время нахождения в очереди ограничивается определенными условиями. Если эти условия не выполняются, заявка получает отказ в обслуживании. В противном случае заявка ожидает своей очереди на обслуживание. Ограничения, накладываемые на ожидание, чаще всего бывают двух типов: ограничение на время нахождения в очереди и ограничение на число заявок в очереди.

- Для СМО с очередями могут иметь место разные дисциплины обслуживания очереди в порядке очередности либо по приоритетам абонентов.
- При оценке показателей эффективности (например, пропускной способности) и при определении основных параметров систем мобильной радиосвязи (числа базовых станций в сети, основных характеристик радиоканала, приемопередающего оборудования и др.) важным является характеристика (профиль) обслуживаемого трафика.
- Трафик в системах мобильной радиосвязи является случайным, образуется суммированием отдельных потоков заявок (вызовов) от многих абонентов и близок к пуассоновскому потоку

# показатели и критерии

## качества услуг

качество обслуживания абонентов мобильной связи  
(QoS - Quality of Service)

критерии качества - требование потребителя к услуге

показатели качества – численные характеристики услуги:

• доступность связи

• непрерывность связи  
• качество передачи информации  
• скорость установления соединения

Реклама

мнения пользователя относительно качества обслуживания

• удовлетворенность абонентов обслуживанием  
• правильность тарификации  
• скорость ремонта

Удовлетворение пользователя

**технические**

**организационные**

Качественные характеристики работы сети

Качественные характеристики терминала

Пункт продажи

Обслуживание пользователей

# Концепция управления QoS

**основа** Концепции QoS - служба обмена данными на сети

**архитектура** службы обмена многоуровневая, основные службы:

- *обмена данными сети радиодоступа*
- *обмена данными базовой сети*

**класс, параметры** обмена данными, их величину определяют классы трафика:

*речевой*  
*поточный*  
*интерактивный*  
*фоновый*

**Алгоритмы управления качеством:**  
*в плоскости управления*  
*в плоскости пользователя*



# **Управления качеством услуг при передаче мультимедийного трафика**

**Управления качеством услуг при передаче мультимедийного трафика должны осуществляться на основе:**

- 1. Стандартных процессов управления качеством обслуживания мультимедийным трафиком по принципам функционирования и характеру воздействия**

*ключевым фактором гарантированного предоставления требуемого качества пользователям различных видов услуг с мультимедийным трафиком является планирование и оптимизация сетей*

- 2. Алгоритмов управления качеством в рамках концепции QoS**

*совершенствование алгоритмов, позволяющих эффективно распределять ресурсы радиосети между услугами, обеспечивает повышение качества предоставления мультимедийных услуг передачи данных*

- 3. Методики мониторинга сети**

*необходимость в эффективном анализе функционирования и своевременного обнаружения неисправностей, высокий уровень обслуживания, ожидаемый абонентами, требует круглосуточного контроля состояния сетей с использованием современных средств наблюдения*



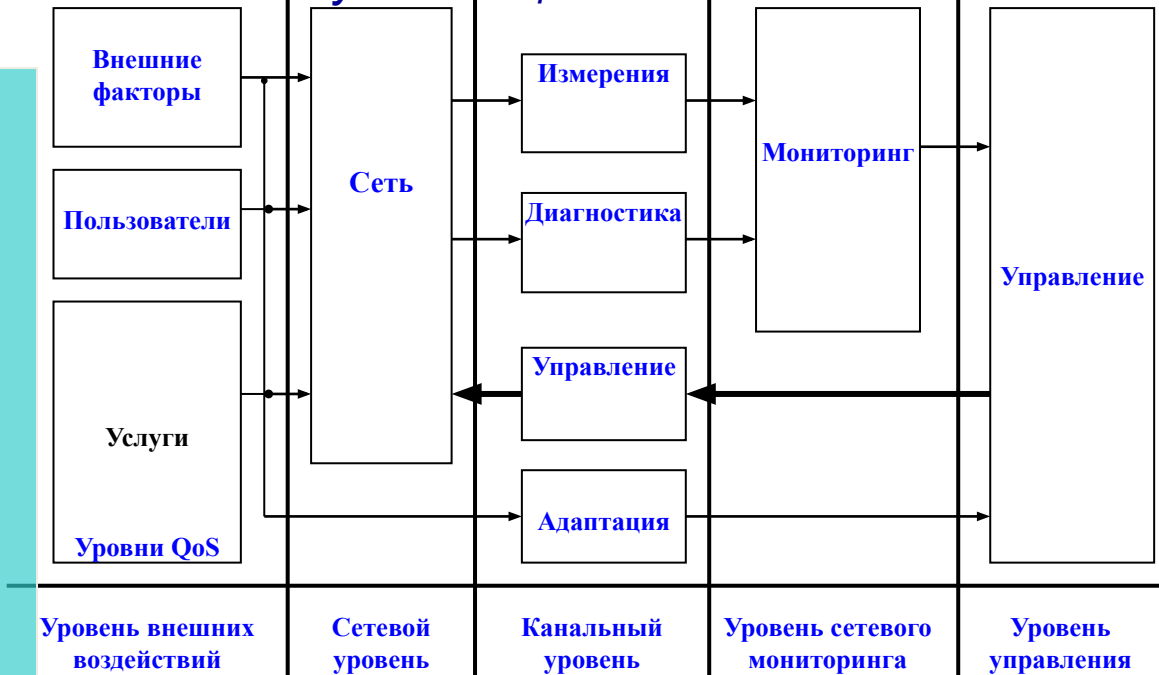
# Процессы управления

**Процессы управления мультимедийным трафиком различаются по принципам функционирования и характеру воздействия:**

- **стратегические** - планомерное развитие инфраструктуры сети с учетом распределения нагрузки и типов предоставляемых услуг
- **оперативные** - выполняемые службой управления сети (коррекционное воздействие для поддержания качества функционирования сети)
- **автономные автоматизированные** - обслуживающие каждое соединение

**Система управления сетью - циклическая многоуровневая структура, обеспечивающая:**

- заданный уровень обслуживания
- требуемую пропускную способность
- запланированный уровень покрытия



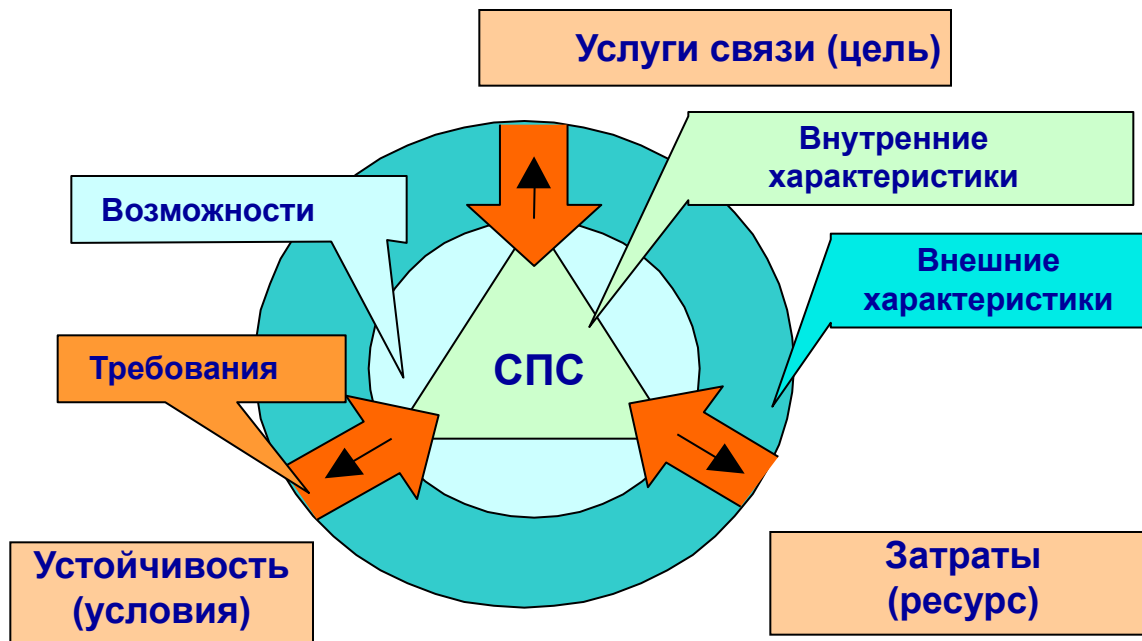


# *Содержание процесса управления качеством услуг*

- планирование нормативного уровня качества услуг (определение показателей, норм и методик измерений);
- предоставление услуг (выполнение работ по эксплуатации программно-аппаратных средств и обслуживанию абонентов);
- контроль качества услуг (проведение внутренних проверок качества услуг и сравнение достигнутых значений качества с нормативными значениями);
- улучшение качества услуг (анализ состояния процесса оказания услуг, планирование более высоких показателей качества услуг).

# Взаимосвязь внешних и внутренних факторов воздействия на сеть подвижной связи

Функциональное назначение: предоставление пространственно распределенным абонентам услуг достоверного и своевременного обмена сообщениями заданного вида и объема



# Классификация показателей эффективности функционирования сетей

## Показатели эффективности функционирования СПС

### Качество услуг

**Доступ к сети**  
 $P(P_{\text{сигнала}} \geq P_{\text{PЧ}})$

**Доступ к услуге**

$$P_{\text{Д.У.}} = 1 - P_{\text{отк}}$$

$$P_{\text{Д.У.}}^i =$$

$$P \left( \begin{array}{l} V_{\text{MIN}}^i \leq v_i \leq V_{\text{MAX}}^i; \\ t_i \leq T_{\text{ДОП}}^i; \\ \overline{d_i} \leq D_{\text{ДОП}}^i \end{array} \right)$$

**Непрерывность услуг**

$$\frac{N_{\text{обрывов}}}{N_{\text{соедин}}}$$

**Полнота услуг**

Данные – объем переданных/принятых данных  $V_{\text{данн}}$   
 Речь – качество в баллах  $MOS$

### Системные

**Пространственно-технические параметры**

- Кол-во и коорд. БС
- Конфигурация и ТХ БС и АФУ

**Функциональные**

- Режимы работы TRX
- Распределение частотных полос и ресурсных блоков
- Параметры хэндовер
- Списки соседей
- Пороги доступа

**Тематические карты**

- Ср. мощности сигнала на вх. ПРМ
- Покрытия с заданной вероятностью
- Зон сервирования
- Интерференции
- Видов модуляции и скор. передачи
- Трафика

**Площадные и табличные данные**

### Экономические

**Расходы**

- CAPEX – капитальные расходы
- OPEX – операционные расходы

**Доходы**

- ARPU – средний доход на абонента
- EBITDA – объем прибыли до вычета расходов
- OIBDA – операционный доход до вычета износа осн.средств

**Эффективность бизнеса**

- Прибыль - превышение доходов над затратами
- Рентабельность - отношение прибыли к активам.

### Эксплуатационные

**Организационные**

- Система управления и структура службы эксплуатации;
- Уровень квалификация персонала
- Организация гарантийного и послегарантийного обслуживания и ремонта

**Функциональные**

- Сбор и анализ статистики
- Время выявления, принятие решения и устранения аварий

**Материально-технические**

- запасы и подменный фонд оборудования
- измерительное оборудование

# Общие положения(1)

Анализ состояния и перспектив развития сетей мобильной радиосвязи вскрывает ряд проблем, носящих общий характер, основными из которых являются:

- объективная необходимость увеличения диапазона используемых радиочастот для повышения канальной емкости оборудования и пропускной способности систем обуславливает дополнительные трудности при планировании сетей (выборе мест развертывания базовых станций и обосновании параметров их элементов);
- длительный срок окупаемости вложенных средств вызывает необходимость определения рациональной стратегии развития подвижных служб связи с учетом особенностей конкретного района;
- увеличение числа и динамики пользователей на ограниченной территории требует обеспечения эффективного управления сетью.

# Общие положения(2)

Указанные проблемы в значительной мере могут быть разрешены путем широкого использования *технологий геоинформационных систем (ГИС-технологий)* при планировании сетей подвижной радиосвязи, которые обеспечивают повышение качества решений, принимаемых при выборе мест размещения БС, и дают возможность оптимизации структурно-топологических и технических характеристик сетей подвижной радиосвязи. ГИС могут также применяться для оптимального планирования и организационно-технического управления системами подвижной радиосвязи.

Система планирования должна обеспечивать построение сетей сотовой наземной мобильной радиосвязи в диапазонах частот их использования. В качестве геоинформационных систем целесообразно использовать системы, позволяющие работать на различных платформах (Windows и др.) и создавать приложения, ориентированные на конкретные задачи пользователя.



# Общие положения(3)

- Инструменты системы планирования должны обеспечивать построение ЗО и ЗП как с учетом значений уровня поля внутри зоны, так и без него. В последнем случае строится только граница зоны, в которой поле сигнала передатчика BS превышает заданный уровень.
- План размещения BS сети и их параметры (мощность передатчика, потери в антенном фидере, диаграмма направленности антенны, высота ее установки и ориентация) являются исходными для расчета и вводятся пользователем. План размещения BS сети и результаты расчетов ЗО и ЗП отображаются на карте. Уровни поля в зонах отображаются цветом.



# Общие положения(4)

Система должна обеспечивать расчет:

- *зон обслуживания (ЗО)* базовых станций (BS) по заданному уровню поля на их границе с контролем возможности обеспечения радиосвязи в пределах зоны;
- *зон покрытия (ЗП)* BS, где уровень радиосигнала не ниже заданного, но при этом не гарантируется возможность радиосвязи во всей зоне покрытия;
- *зон покрытия по связи (ЗПС)* BS, на которых выполняются требования по качеству связи;
- *зон взаимных помех (ЗВП)* по основному и побочным каналам приема, определяемых наложением ЗП на ЗО базовых станций, где отношение сигнала к помехе меньше защитного соотношения.

# Общие положения(5)

- Для расчета основных потерь при распространении радиоволн должен учитываться рельеф местности, план жилой застройки, наличие водоемов и лесных массивов.
- Система должна быть ориентирована на обязательное использование моделей распространения радиоволн, описанных в Рекомендациях МККР, МСЭ и др.

# Общие положения(6)

Зона покрытия совпадает с зоной обслуживания в случае, если излучаемая мощность мобильных (абонентских) радиостанций (MS) превышает излучаемую мощность базовой станции. При этом дальность связи определяется мощностью излучения базовой станции.

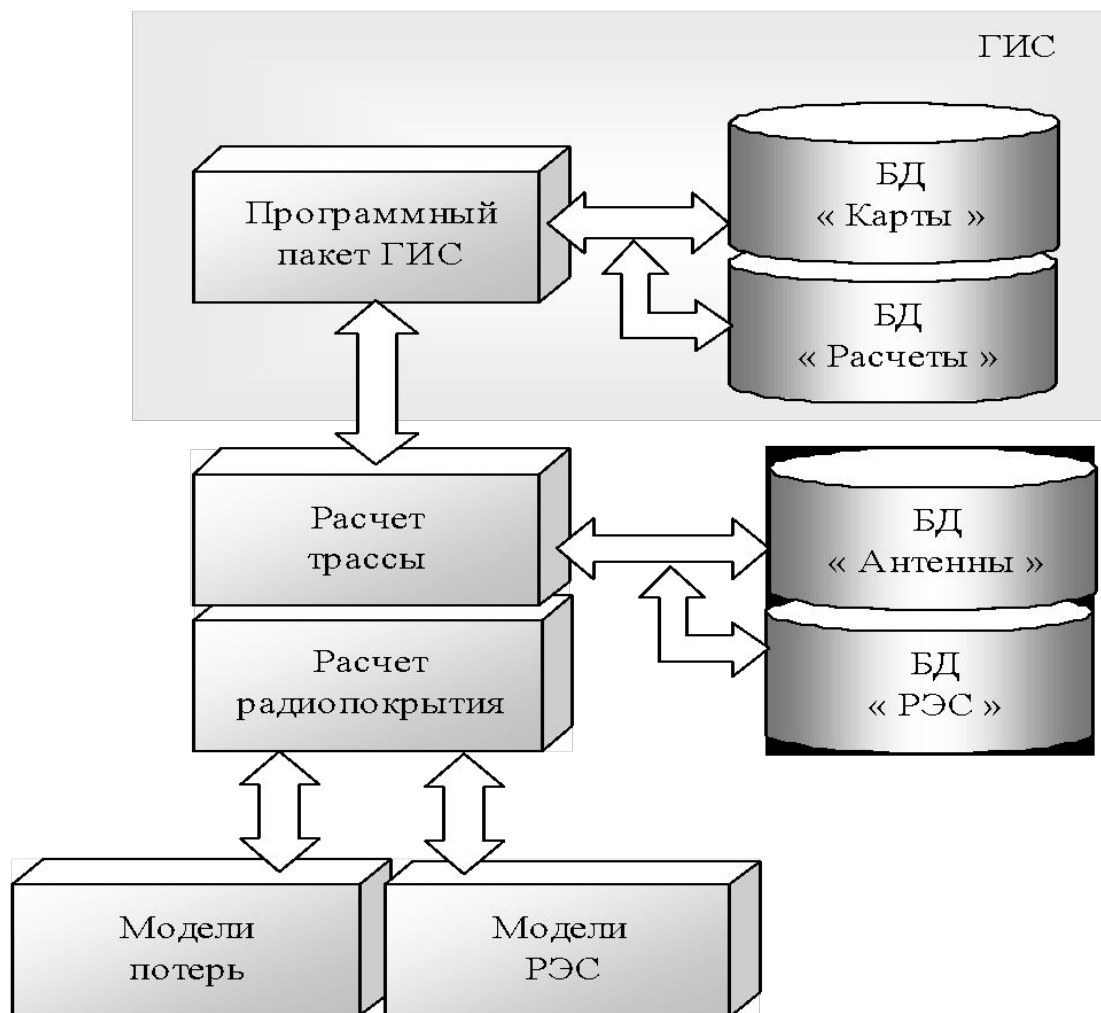
В противном случае, если мощность излучения MS меньше мощности излучения BS, то MS не сможет обеспечить необходимый уровень сигнала на входе приемника BS, находясь на границе ЗП ее передатчика, и дальность связи ограничивается мощностью излучения MS.

# Общие положения(7)

В системе должна быть предусмотрена возможность расчета зон помех от всех BS планируемой сети. Зона помех оценивается в виде зоны покрытия передатчика BS, в которой уровень электромагнитного поля превышает минимальный допустимый уровень напряженности поля, уменьшенный на величину защитного отношения сигнал/помеха в совмещенном (соседнем) канале приема.

Достаточным условием полного исключения помех в паре BS является отсутствие взаимных пересечений ЗО и ЗВП.

# Обобщенная функциональная схема системы планирования



# Обобщенная функциональная

## схема системы планирования (продолжение)

Обобщенная функциональная схема системы частотно-территориального планирования содержит три каталога:

- 1. **Системный каталог**, который содержит приложения ГИС, системные библиотеки и файлы проектов.
- 2. **Каталог электронной карты местности текущего проекта**, включающий следующие таблицы:
  - линии уровня;
  - кварталы жилой застройки;
  - дороги (в расчетах не используется);
  - водоемы;
  - лесные массивы.
- 3. **Каталог текущего проекта**, содержащий таблицы исходных данных, и результаты расчетов по частотно-территориальному плану текущего проекта.

# Характеристики радиоканала

# Модель многолучевого распространения сигналов

- Определение параметров радиоканала имеет ключевое значение при разработке систем мобильной радиосвязи. Свойства канала, вносимые искажения и помехи, а также допустимая ширина спектра передаваемого сигнала определяют максимальную скорость передачи данных при заданном уровне достоверности передачи информации.
- Используемые в сотовых системах мобильной связи радиосигналы дециметрового диапазона поступают в место приема по многим путям (лучам) различной длины вследствие многократных отражений от препятствий на пути распространения.

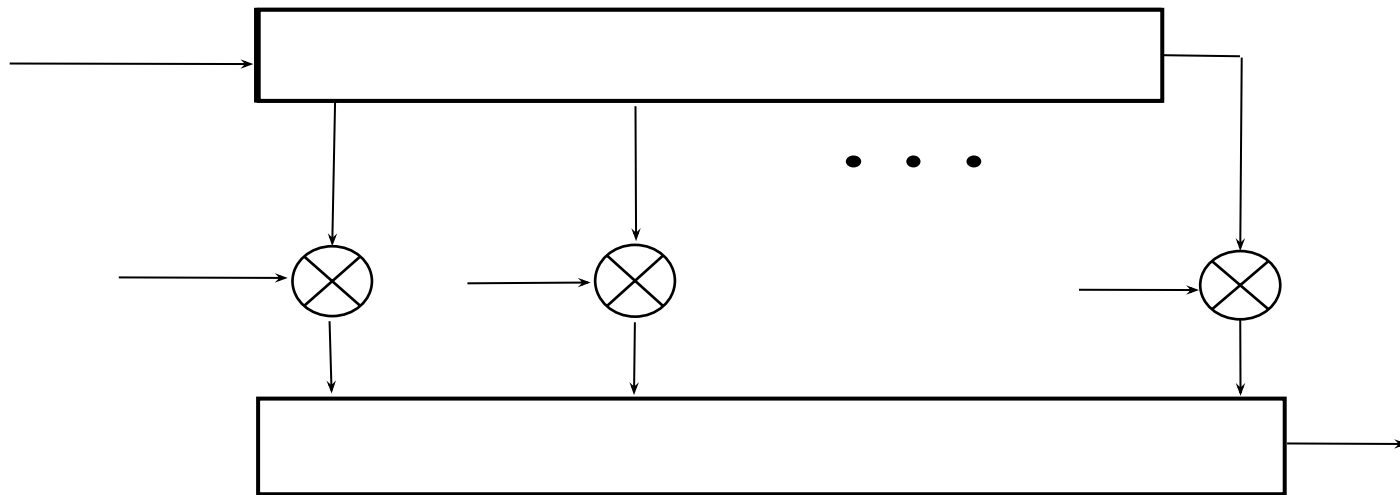


# Модель многолучевого распространения сигналов

- Аналитический сигнал, соответствующий сигналу, поступающему на антенну подвижной станции и является суммой сигналов, приходящих по  $M$  путям различной длины с различным числом переотражений.
- Каждый из аналитических сигналов в  $k$ -ом луче приема, в свою очередь, соответствует сумме  $N$  сигналов, являющихся результатами рассеяния и отражений в непосредственной близости от подвижной станции.
- Можно полагать задержки ( $i=1, \dots, N$ ) поступления сигналов в  $k$ -ом луче приема практически одинаковыми и равными средней задержке.
- Реальные значения доплеровских смещений частоты не превышают 100...200 Гц, а максимальное значение величины задержек не превышает порядка единиц мкс.

# Модель многолучевого распространения сигналов

Модель рассматриваемого многолучевого радиоканала может быть представлена в виде линии задержки (ЛЗ) с отводами, соответствующими каждому из  $M$  лучей приема, взвешиванием в соответствии с коэффициентами и последующим суммированием



# Модель многолучевого распространения сигналов

- Как средние значения задержек сигналов в различных лучах приема, так и значения параметров, коэффициентов зависят от времени вследствие перемещения приемной станции и соответствующего изменения морфоструктуры местности в точке приема.
- Поскольку расположение объектов, вызывающих отражения и рассеивание сигналов в непосредственной близости от точки приема, является случайным, все перечисленные параметры оказываются случайными величинами

# Модель многолучевого распространения сигналов

- При достаточно большом числе  $N$  рассеянных и отраженных сигналов, что и имеет место при приеме сигналов в условиях сильно пересеченной местности и городской застройки, коэффициенты могут рассматриваться как случайные процессы, вещественные и мнимые части которых статистически независимы и распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и одинаковыми дисперсиями.
- При излучении передатчиком немодулированного гармонического колебания с частотой  $\omega$ , сигнал, принимаемый по  $k$ -му лучу, в соответствии с моделью Кларка, представляет собой узкополосный гауссовский процесс, огибающая которого описывается законом Рэлея, а фаза распределена равномерно в интервале  $(0, 2\pi)$ .

# Затухание радиосигналов в процессе распространения

- Одним из последствий рассмотренного выше явления многолучевого распространения оказывается увеличение степени затухания уровня средней мощности сигнала с ростом расстояния от передающего устройства по сравнению с затуханием в свободном пространстве.
- В последнем случае, как известно, средняя мощность принимаемого сигнала обратно пропорциональна квадрату этого расстояния, в то время как в системах мобильной связи, в зависимости от условий распространения, этот показатель может достигать значений 3...5.
- Получение достаточно точных аналитических оценок величины энергетических потерь при распространении сигнала в различных условиях не представляется возможным, поэтому при проектировании современных систем используют различные *статистические модели* таких потерь, полученные в результате анализа и обобщения результатов многочисленных экспериментов.

# Затухание радиосигналов в процессе распространения

- Моделью удовлетворительно описывающей потери средней мощности на расстояниях свыше 1 км и в диапазоне частот до 1,5 ГГц, является *модель Окамура-Хата (Okumura-Hata)*.
- Модель является модификацией *модели Окамура* на основе использования эмпирических зависимостей, аппроксимирующих экспериментальные графики *Окамура*, которая дает большие погрешности для условий сельской местности, особенно при больших перепадах высот.
- В области же частот 1,5 до 2 ГГц реальное затухание сигнала оказывается существенно выше, чем следует из *модели Окамура-Хата*. Специально для указанной области частот разработаны *модель COST231-Хата* (англ. *Cooperation for Scientific and Technical Research, COST*) и *модель COST231-Уолфиш-Икегами*.

# Затухание радиосигналов в процессе распространения

- Статистические модели не позволяют учесть специфические условия района развертывания сети связи (этажность строений, ширину улиц и т.п.). Эту специфику позволяет учесть *модель Ксиа-Бертони*.
- *Модель Ксиа-Бертони (Xia-Bertoni)* построена на основании уравнений волновой оптики и рассматривает различные механизмы распространения радиоволн в условиях городской застройки, а именно распространение в свободном пространстве, дифракцию на кромках крыш зданий, отражение от стен зданий. Интерферируя в точке приема, лучи, пришедшие по различным путям, формируют суммарный сигнал.
- Когда антенна БС расположена выше среднего уровня крыш зданий, на входе МС оказываются сигналы, распространяющиеся по двум лучам: один - в результате дифракции на кромке крыши здания, другой - после отражения от противоположной стены здания.

## Затухание радиосигналов в процессе распространения

Модель Ксиа-Бертони позволяет оценить средний уровень потерь в случаях, когда антенна БС расположена на уровне крыш или ниже уровня крыш (такие приемы используют, когда необходимо "засветить" ограниченную локальную область: площадь, сквер и т.д.).

Несмотря на то, что модель не учитывает ряд важных параметров (вид строительных материалов, ориентацию улиц и т.п.), она дает простой и удобный способ получения предварительных оценок уровня средних потерь в канале связи.



# Общие положения(8)

Решение задач планирования сетей подвижной радиосвязи осуществляется на основе прогнозирования возможных зон обслуживания и взаимных помех BS сети. Под *прогнозом* понимается вероятностное суждение, сделанное на основе специальных расчетов.

При этом с целью уменьшения пространственной неопределенности прогноза используются не конкретные местоположения подвижных станций в зоне ответственности сети, а элементы пространственного разрешения территории, называемые *элементарные площадки пространственного разрешения (ЭППР)* зоны покрытия сетей подвижной связи.

Для полевых условий размеры таких ЭППР больше, чем для городских условий, поскольку в последнем случае условия затенения изменяются более резко.

# Общие положения(9)

- ЭППР характеризуются определенными статистическими характеристиками медленных и быстрых замираний сигнала на входе радиоприемника мобильных станций.
- Зона покрытия базовой станции прогнозируется как совокупность ЭППР с заданными параметрами.
- Прогноз зоны покрытия базовой станции по связи определяется как вероятностное суждение о выполнении требований к связи в каждой ЭППР.

# Общие положения(10)

- Характер огибающей сигнала в зоне ЭППР определяется медианным значением уровня поля, среднеквадратическим отклонением его флуктуаций и параметром, характеризующим наличие или отсутствие условий прямой видимости между фазовыми центрами антенн базовой станции и абонентской станции по условиям распространения радиоволн на интервале связи.
- Для определения медианного значения уровня сигнала в ЭППР можно использовать методики расчета затухания сигнала в радиолинии УКВ диапазона прямой видимости. Методики расчета тесно увязаны с используемыми исходными данными. В этом случае с заданной точностью восстанавливается профиль трассы или ее трехмерная картина.

# Общие положения(11)

- Среднеквадратическое отклонение флуктуаций уровня поля относительно его медианного значения в пределах глобальной зоны, образуемой совокупностью ЭППР, определяется в соответствии с классификацией типа подстилающей поверхности в пределах ЭППР.
- Количество типов подстилающей поверхности зависит от многих факторов, характеризующих степень влияния типа подстилающей поверхности в ЭППР на параметры радиолинии. Факторами влияния могут быть диапазон частот, вид сигнала, используемые методы повышения качества и вероятности связи.

## Геоинформационная база данных при планировании радиосвязи(1)

- *Геоинформационной системой (ГИС)* принято называть совокупность компьютерных средств и программного обеспечения, позволяющую вводить, поддерживать, анализировать и показывать все виды географических и пространственных объектов, а также других данных, связанных с ними.
- ГИС позволяет выполнять комплексные пространственные операции над множеством объектов и связанными с ними данными.

# Геоинформационная база данных при планировании радиосвязи(2)

- Один из основных принципов создания ГИС подразумевает разделение содержания картографической базы на **информационные слои**.
- **Слоем** называется графический уровень представления данных таблицы в окне карты.
- Такой подход к созданию и использованию ГИС позволяет учитывать конкретные условия различных потребителей, предоставляя возможность заказывать необходимые слои информации и работать с ними.
- Произвольное комбинирование слоев позволяет удовлетворить требования самых разнообразных потребителей, а также ускорить широкое внедрение цифровых карт.

# Геоинформационная база данных при планировании радиосвязи(3)

Геоинформационная база данных может содержать следующие слои:

- данные о BS (координаты и характеристики);
- рельеф местности (рекомендуемый шаг изолиний 5–20 м);
- данные по типам застройки (городская, пригородная и сельская – дома или кварталы);
- водные объекты (морья, озера и реки);
- лесные массивы (тип леса, плотность и высота деревьев);
- данные почв;
- описание зон рефракции и субрефракции;
- дороги и спецмагистралы (ЛЭП, линии связи и т. п.);
- прочие объекты и обозначения.

# Геоинформационная база данных при планировании радиосвязи(4)

- Точность расчета затухания сигнала на трассе зависит от метода расчета и точности задания исходных данных.
- Для автоматизации расчетов целесообразно использовать геоинформационные системы на основе цифровых карт местности.
- Для условий среднепересеченной местности достаточным является горизонтальное разрешение пространственного распределения морфологических данных о местности до 250 м, точность задания высот 4 м и учет восьми типов подстилающей поверхности.
- В гористой местности горизонтальное разрешение уменьшается до 50 м.
- Для городских условий горизонтальное разрешение должно составлять 5 м, иначе не будут обозначены все проезды, хотя для проведения самих расчётов достаточно горизонтального разрешения в 10 м.
- Для целей планирования рекомендуется использовать электронные карты масштабов 1:100 000 или 1:200 000. Обязательным требованием к картам является



# Цифровые карты местности

## Матричные цифровые карты.

Оцифровка рельефа и типов подстилающей поверхности (водные объекты, леса, застройка и т. п.) производится квадратами  $N \times N$  метров, где  $N=(1, 2, 5, 10, 20, 25, 50 \dots 1000)$  м. .

Достоинства метода – простота и высокая скорость обработки данных.

Недостатками матричного метода являются:

- большой объем памяти для хранения информации (избыточность);
- разномасштабность исходных данных;
- трудность представления протяженных объектов (дороги, реки, ЛЭП и др.);
- трудность трансляции данных из исходного источника представления информации (например, топографические—на бумаге) в требуемую форму хранения;
- высокая трудоемкость сбора и стыковки разнородной информации;
- высокая трудоемкость сопровождения карт.

# Цифровые карты местности

## Векторные цифровые карты.

Информация хранится в виде описания *«кривых равных величин» (изолиний)*, например, кривые равных высот. Хранимая информация делится на смысловые части, каждая из которых может быть представлена в графическом виде в качестве отдельного *«слоя» карты* (например, могут быть выделены следующие слои карты – высоты местности, проводимость почвы, коммуникации, плотность размещения радиосредств и т. д.).

Достоинствами данного метода являются:

- небольшой объем памяти, требуемой для хранения информации (по сравнению с предыдущим методом);
- отсутствие проблемы совмещения различных слоев, в которых хранится информация, снятая с разной точностью (разным масштабом);
- удобство описания протяженных объектов;
- относительная простота создания и сопровождения карт.

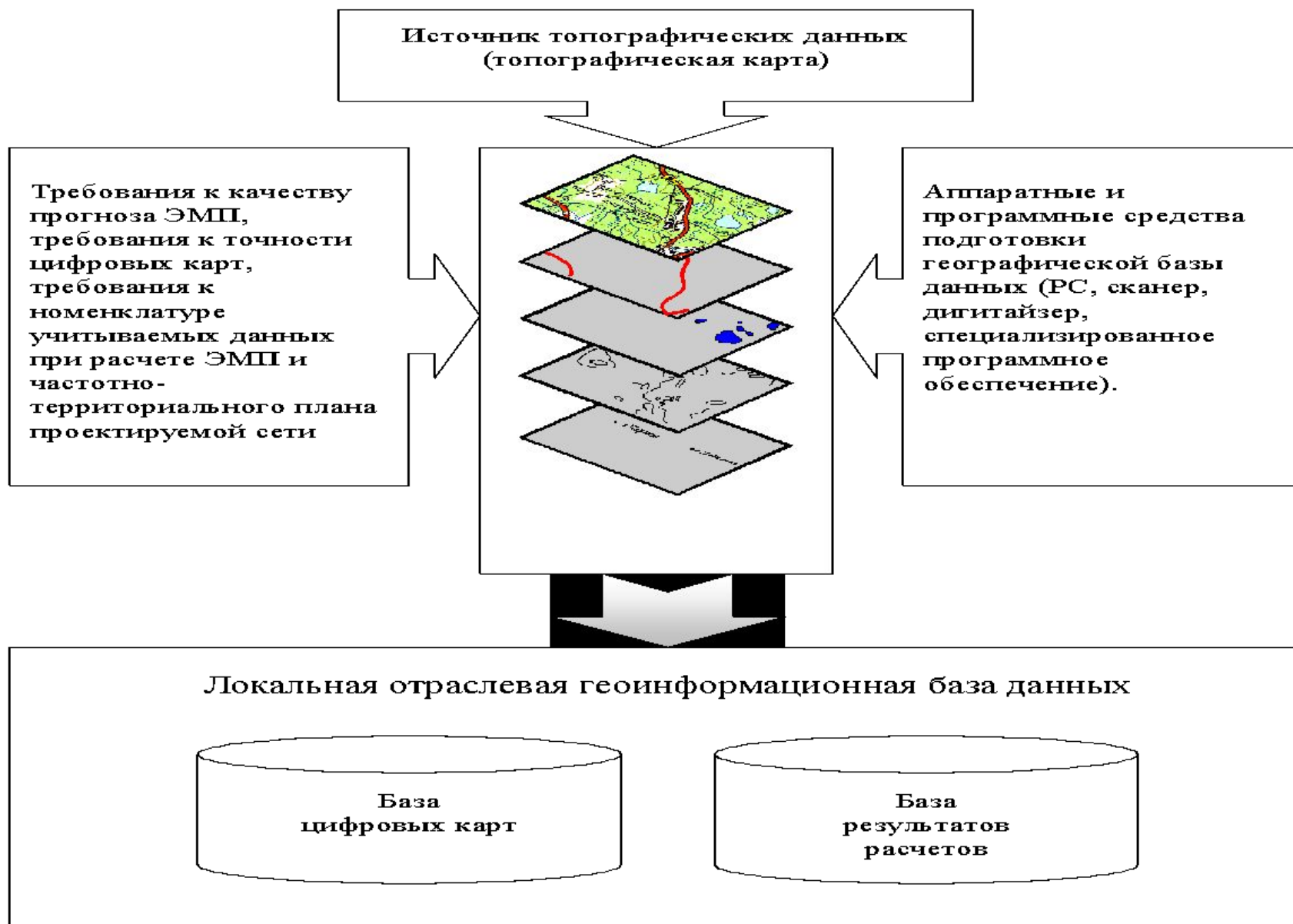
К недостаткам метода можно отнести большой объем вычислений при обработке данных, что приводит к замедлению работы системы на ЭВМ с малой производительностью.

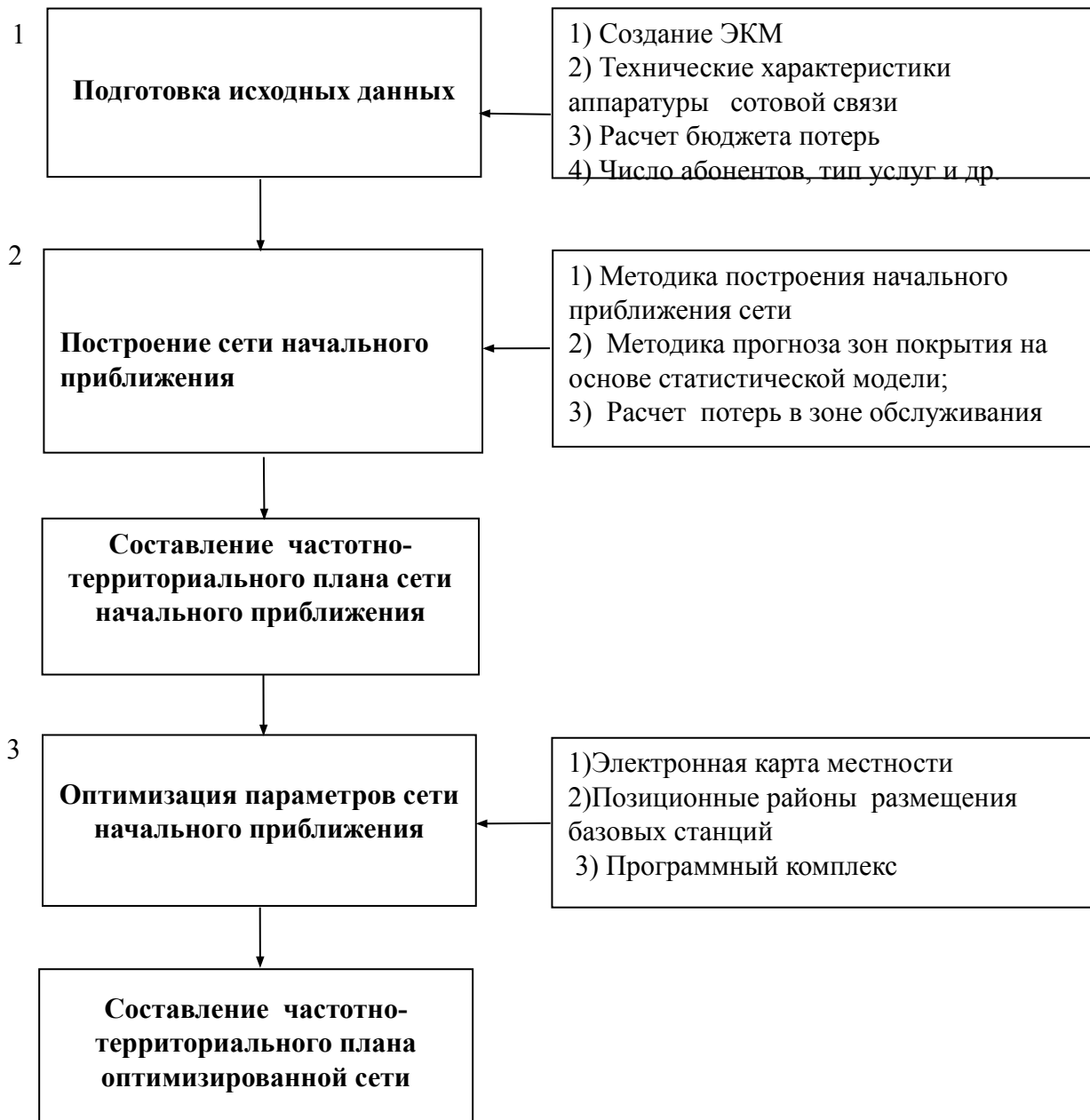
# Инструментальные средств создания ГИС

Успешно применяются в мировой практике при решении широкого круга задач цифровой картографии и геоинформатики следующие ГИС:

- многофункциональная графическая оболочка *MicroStation*
- модульная геоинформационная среда *MGE* для PC (Windows и др.) и рабочих станций (UNIX)
- геоинформационная система *MapInfo* (в том числе, русифицированная версия) позволяющая работать на различных платформах PC и создавать приложения, ориентированные на конкретные задачи пользователя, снабженные меню, разработанными специально для этого приложения (благодаря наличию встроенного языка программирования *MapBasic*).
- и др.

# Структура локальной отраслевой геоинформационной системы





## Алгоритм частотно-территориального планирования

# Первый этап планирования

- заключается в подготовке электронной карты местности (ЭКМ), содержащей данные, описывающие рельеф местности, застройку территории, лесные и водные массивы, и в получении надежных данных в отношении:
- высоты местности;
- морфоструктуры (землепользование);
- распределения населения, транспортных потоков и других факторов, влияющих на плотность трафика;
- прогноза числа абонентов;
- требований к рабочим характеристикам для обеспечения соответствующего качества радиосвязи;
- вероятности блокировки;
- бюджета потерь;
- рекомендуемых участков для размещения базовых станций, отвечающих требованиям по наличию линий привязки к сети связи общего пользования, электропитанию, возможности размещения оборудования, установки антенн и др.;
- имеющихся в распоряжении полос частот;
- совместимости с другими системами;
- сетевых интерфейсов.
- Очевидно, для планирования сети требуется довольно обширный набор исходных данных, достоверность которых может существенно повлиять на адекватность принимаемого решения.
- На этом этапе производится оценка *бюджета потерь* – показателя, характеризующего допустимые потери в радиолинии для заданного стандарта сотовой мобильной связи.

## Второй этап планирования

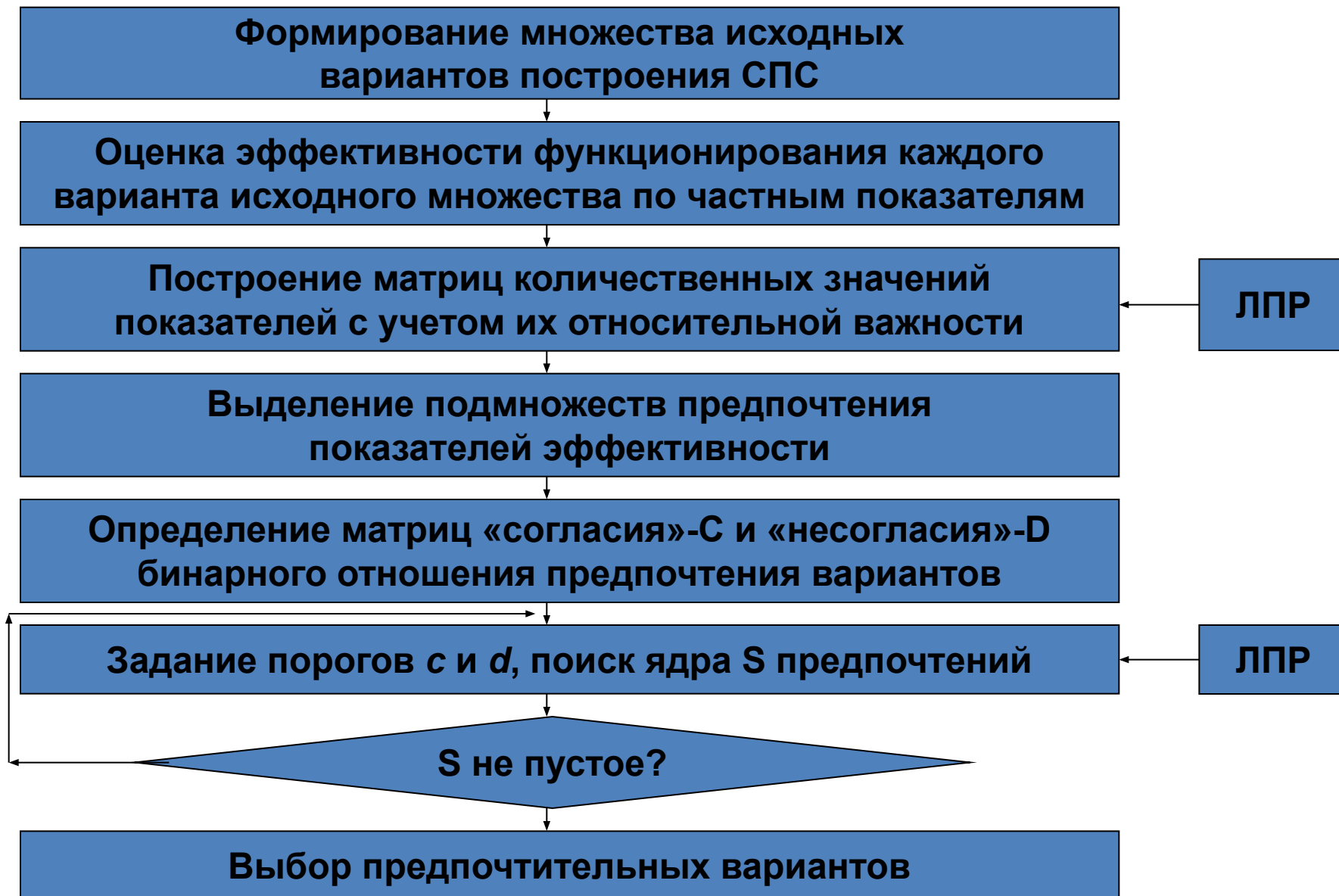
- состоит в построении исходной сети (*сети начального приближения*). На этом этапе вся сеть декомпозируется на однородные фрагменты на основе значений плотности трафика, применительно к которым находятся распределения базовых станций по зонам обслуживания, параметры базовой сети и распределение частотного ресурса (кодových сдвигов).
- Такой подход к построению сети (на основе абонентской емкости) приводит к одинаковым размерам сот в пределах фрагмента сети и необходимости решения задач по стыковке неоднородных фрагментов сети на их границах, т.е. к необходимости решения задач по расщеплению сот. При использовании расщепления возможно два типа сот: с одинаковыми секторами ("большие" и "малые" соты) и с разными секторами ("переходные" соты).
- Решение, полученное на этапе построения исходной сети, является важнейшим этапом планирования и должно представлять собой частотно-территориальный план сотовой сети радиосвязи, который может быть использован в качестве сети начального приближения.

# Третий этап планирования

- включает привязку участков развертывания базовых станций к карте местности и итеративную оптимизацию параметров базовой сети с использованием геоинформационной базы данных и специального программного обеспечения, позволяющего произвести расчет напряженности поля сигнала в зоне действия сети.
- Итеративная оптимизация параметров базовой сети начального приближения проводится с целью повышения эффективности сети при широком использовании методов моделирования с использованием электронных карт местности.
- В процессе оптимизации все введенные на этапе построения начального приближения допущения снимаются, и производится уточнение параметров под условия реальной сети, производится анализ сети, адаптация плана развертывания радиосети к условиям территориальных ограничений зоны обслуживания, улучшение ее конфигурации, структуры и параметров в целях наращивания емкости сети и повышения качества услуг.
- Оптимизация сетевой структуры предполагает минимизацию числа BS при удовлетворении заданных системных параметров и обеспечении качества услуг.
- Оптимизация может заключаться в перемещении некоторых BS на новое место или увеличении числа секторов. В последнюю очередь рассматриваются варианты, требующие увеличения числа BS, так как это ведет к удорожанию сети.



# Алгоритм оптимизации сети (вариант)



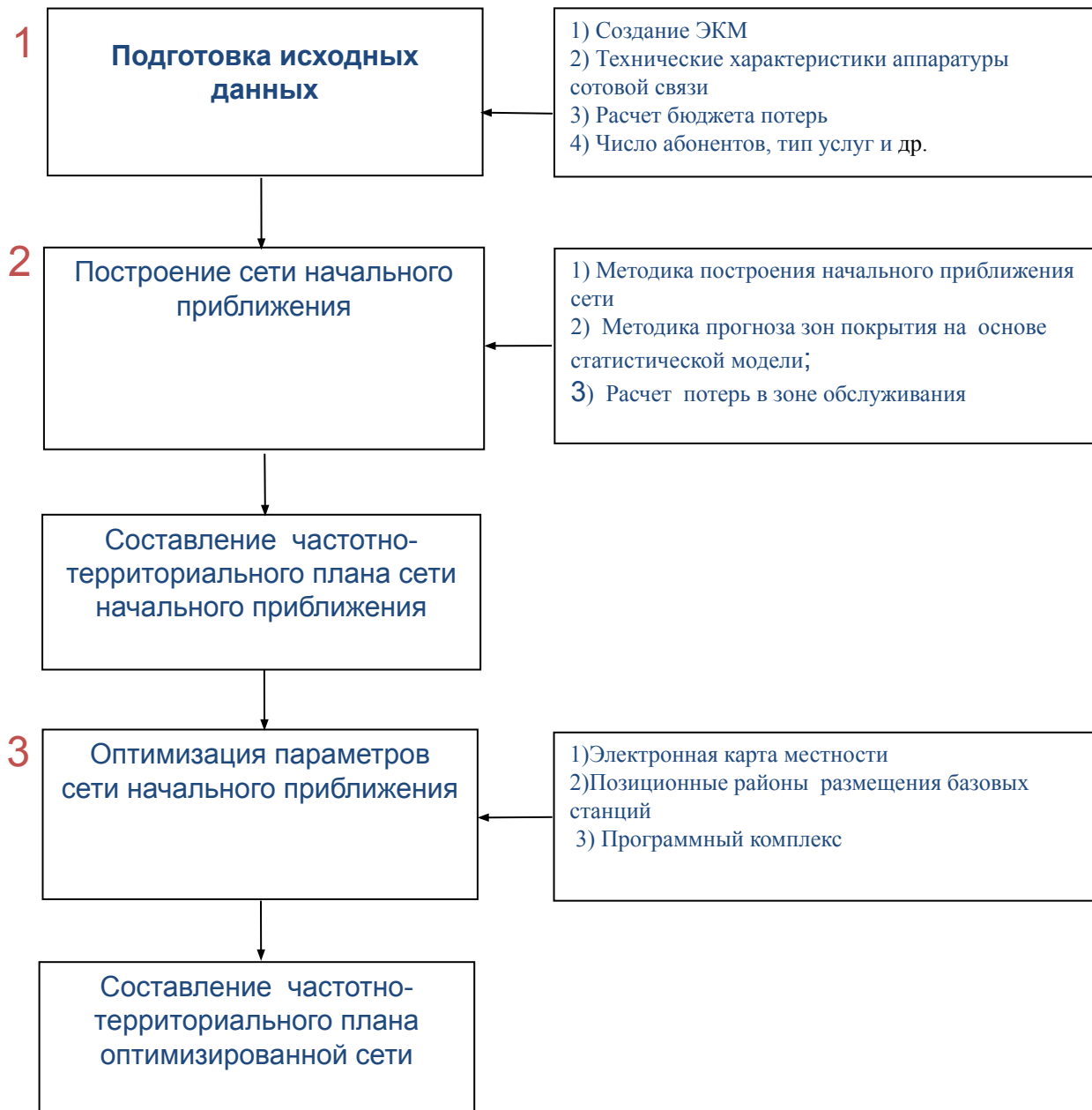
# Отличия в планировании сетей GSM, WCDMA и LTE

| Стандарт | Этапы планирования  |
|----------|---|
| GSM      | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Выбор типа частотного кластера</li><li>2. Определение пространственных параметров сети</li><li>3. Определение параметров базовых станций (исходя из бюджета потерь)</li><li>4. Составление частотного плана</li></ol>  |
| WCDMA    | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Определение числа каналов трафика на соту в зависимости от внутрисистемных помех (загрузки сети)</li><li>2. Определение пространственных параметров сети</li><li>3. Расчет параметров базовых станций (исходя из того, что сигнал групповой; расчет по пилотному сигналу)</li><li>4. Распределение кодовых сдвигов по секторам</li></ol> |
| LTE      | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Определение пространственных параметров сети</li><li>2. Частотное планирование</li><li>3. Оценка пропускной способности при заданном профиле трафика</li><li>4. Уточнение параметров базовых станций и зоны обслуживания, исходя из трафика</li></ol>  |

# Отличия в планировании сетей GSM, WCDMA и LTE (продолжение)

| Наименование                             | LTE  | GSM   | WCDMA  |
|--|--|---|--|
| Планирование частотного ресурса          | Распределение фрагментов полосы системы между пользователями базовых станций   | Распределение частотных каналов между базовыми станциями                      | Не требуется   |
| Наличие регулярной методики планирования | Нет  | Существует  | Существует для высокоскоростной и низкоскоростной передачи   |
| Коммутация                               | Пакетов (все через IP)   | Каналов, пакетов  | Каналов, пакетов   |
| Передача информации                      | OFDM   | Узкополосный сигнал   | Широкополосный сигнал  |
| Профиль трафика                          | VoIP, потоковое видео, мобильный интернет, фоновый трафик  | Речь, мобильный интернет, фоновый трафик                                      | Речь, потоковое видео, мобильный интернет, фоновый трафик  |
| Дисциплина обслуживания                  | VoIP – СМО с отказами,<br>Мобильный интернет – СМО с очередями и приоритетами,<br>Потоковое видео – СМО без задержек | Речь – СМО с отказами,<br>Мобильный интернет – СМО с очередями и приоритетами | Речь – СМО с отказами,<br>Мобильный интернет – СМО с очередями и приоритетами,<br>Потоковое видео – СМО без задержек |

# **ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ GSM**



## Алгоритм планирования сети сетей GSM

## GSM

### Этап 1. Определение числа каналов трафика на сектор

Сеть сотовой связи строят, повторяя одни и те же частотные кластеры в пределах однородных фрагментов зоны обслуживания сети. Это позволяет снизить дефицит радиочастот за счет их повторного использования. Исходя из числа рабочих частот, выделенных оператору –  $nf$  и размерности кластера –  $C$ , находим число каналов, используемых для управления сигнализацией –  $N_u$  и число трафика каналов, приходящихся на одну несущую.

### Этап 2. Определение пространственных параметров сети.

$N_{a.БС} = M \cdot \text{int}\left(\frac{A_c}{A_{cp}}\right)$  число абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией в час наибольшей нагрузки

$K = \text{int}\left(\frac{N_a}{N_{a.БС}}\right)$  число базовых станций в сети

$R_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi \cdot K}}$  – радиус соты, исходя из площади требуемой зоны обслуживания сети и необходимого числа BS

Таким образом, на этом этапе планирования находится число базовых станций и максимальный радиус сот, исходя из абонентской плотности (нагрузки).



# Построение начального приближения сети GSM(продолжение)

## Этап 3. Определение параметров базовых станций

При определении параметров базовых станций сети (мощности передатчиков  $P_{БС}$  (Вт) и высот антенн  $H_{БС}$ ) необходимо использовать технические данные радиоборудования сети, в частности: чувствительность приемников абонентских станций  $P_{АС}$  (дБ(Вт)), высоты их антенн  $H_{АС}$ , коэффициенты усиления антенных устройств базовых станций  $G_{БС}$ , потери в антенно-фидерном тракте и комбайнерах базовых станций, а также потери на трассе распространения радиоволн. Мощность передатчика базовой станции  $P_{прдБС}$  при заданных параметрах антенно-фидерного тракта находится из по формуле

$$P'_{прдБС} = 10^{C/10},$$

## Этап 4. Составление частотного плана

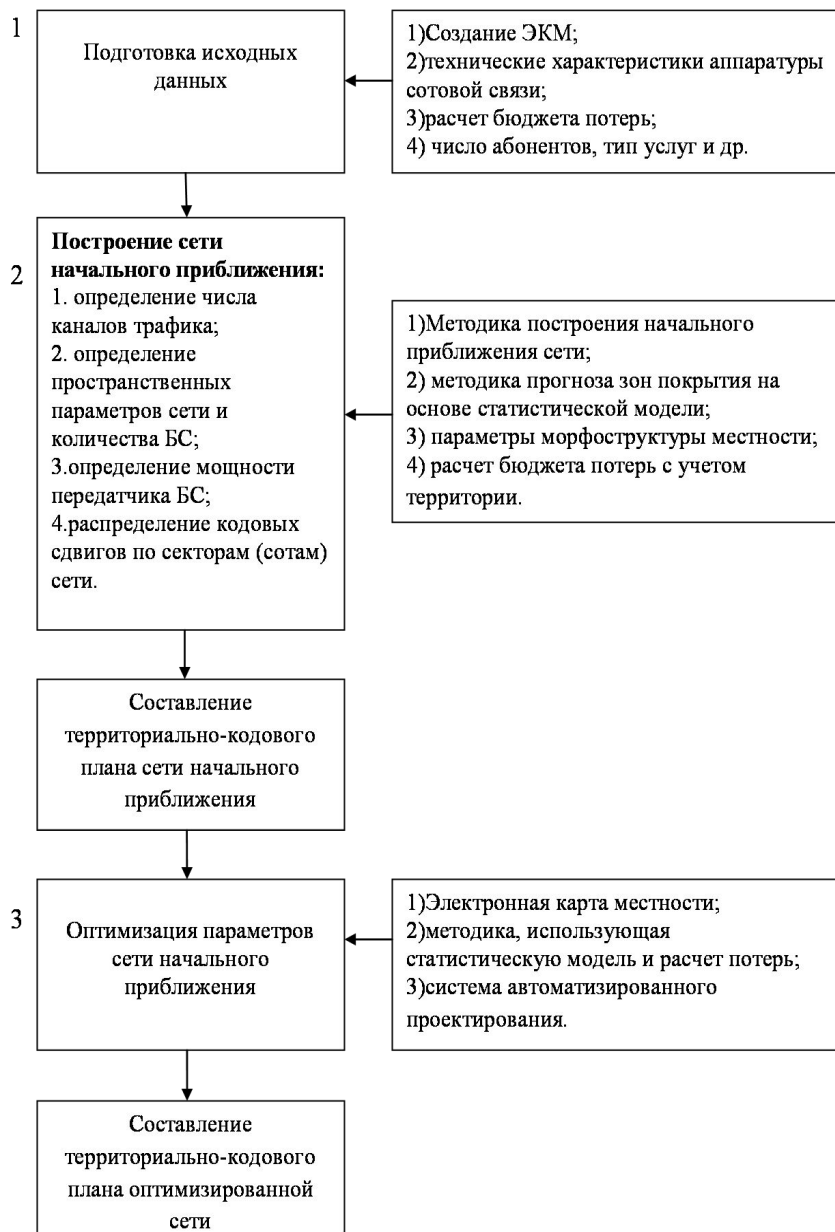
Зная число частотных каналов, приходящихся на каждую базовую станцию, распределяем номиналы частот по группам частотного кластера. Распределение частотного ресурса по группам, базовым станциям и их секторам производится с учетом:

- минимального частотного разнеса радиоканалов в составе одной стойки базовой станции, определяемого требованиями использования устройств сложения мощности канальных передатчиков (комбайнеров) для работы на общую передающую антенну,  $DF_{БСmin}$ , кГц;
- минимального частотного разнеса радиоканалов смежных секторов, в том числе одной базовой станции,  $DF_{Сmin}$ , кГц;
- минимального разнеса радиоканалов, используемых в одном секторе базовой станции, с позиций их интермодуляционной совместимости (не должны создаваться в приемниках базовой станции помехи интермодуляционного характера при приеме нескольких сигналов абонентских станций, работающих в одном секторе).

# ТЕРРИТОРИАЛЬНО-КОДОВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ WCDMA



# Алгоритм территориально-кодowego планирования сети WCDMA



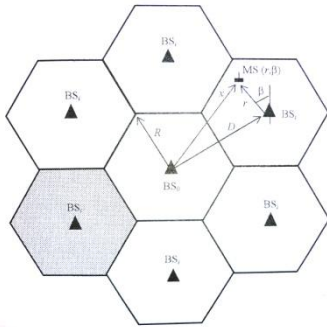
**При построении сети начального приближения предполагаются следующие допущения:**

- - 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 направлениях связи;
- - морфоструктура местности однотипна;
- - параметры приемопередающих станций одинаковы.

# Методика построения начального приближения сети

## Этап1: Определение числа каналов трафика

- Для повышения точности построения начального приближения сети применяется модель сотовой сети, используемая при анализе внутрисистемных помех, воздейс приемник BS:



Количество каналов трафика, приходящихся на сектор (соту) для однородной речевой нагрузки:

$$M_s = \text{int}\left[2\left(\frac{2B}{q^2} + 1\right)\frac{1}{1 + \delta}\right],$$

Для передачи однородных данных:

$$M_s = \text{int}\left[\left(\frac{2B}{q^2} + 1\right)\frac{1}{1 + \delta}\right],$$

- Основное уравнение CDMA для текущего отношения с/п на символ в обратном канале связи:

$$q^2 = \frac{2P_{RX \min}^{BS} B}{k_6 T_0 (K_u - 1) \Delta F + (M_s - 1) P_{RX \min}^{BS} + \delta M_s P_{RX \min}^{BS}}.$$

| Стандарт  | Загрузка сот окружения | Количество каналов трафика |
|-----------|------------------------|----------------------------|
| CDMA 2000 | - 100% - загрузка;     | - 24 канала;               |
|           | - 50% - загрузка;      | - 29 каналов;              |
|           | - 25% - загрузка.      | - 33 канала.               |
| WCDMA     | - 100% - загрузка;     | - 80 каналов;              |
|           | - 50% - загрузка;      | - 98 каналов;              |
|           | - 25% - загрузка.      | - 111 каналов.             |

## Этап 2: Определение пространственных параметров сети

Исходные данные для расчета пространственных параметров сети с точки зрения абонентской емкости:

- число каналов трафика на сектор (соту)  $N_{анет}$ ;
- вероятностью блокировки вызова  $P_{bl}$ ;
- активность одного абонента в ЧНН

Эрл;  $A_a = 0,03...0,04$

- число абонентов сети  $M^s$ ;
- число секторов на БС –  $D$ ;
- площадь зоны обслуживания  $S_{net}$ .

Максимально-возможное число абонентов, которое может обслужить сектор базовой станции:

$$N_{асект} = \frac{A_s}{A_a}$$

Число секторов в сети:

$$N_{сект} = \frac{N_{анет}}{N_{асект}};$$

Число БС в сети:

$$N_{BS\ net} = N_{сект} / D,$$

где  $D$  - число секторов на БС.

Площадь БС:

$$S_{BS} = \frac{S_{net}}{N_{BS\ net}}$$

Дальность связи (радиус соты с точки зрения абонентской нагрузки):

$$R = k \cdot \sqrt{\frac{S_{BS}}{\pi}}$$

где  $k = 1.25$  – коэффициент, учитывающий необходимость взаимного перекрытия сот для обеспечения хэндовера.

Для среднего и малого города с высотой антенны BS 30м, высотой антенны MS 1,5м и несущей частотой 1950МГц допустимые потери на трассе с помощью модели COST231–Hata:

$$L_p = 137.4 + 35.2 \log(R)$$

Откуда радиус соты с точки зрения бюджета потерь:

$$R = 10^{\frac{L_p - 137.4}{35.2}}, \text{ км.}$$

Если  $R$  ( по потерям)  $\approx R$  ( по абонентской емкости), то выполняются требования по покрытию и емкости сети и ресурсы используются наиболее рационально, а если данное требование не выполняется, то надо произвести расчет заново для улучшения ситуации, изменяя определенные параметры.

### Этап 3: Определение мощности передатчика БС

Расчет линии «вниз» аналогичен расчету линии «вверх», однако имеется ряд отличий. Ограничения по уровню сигнал/помеха для конкретного пользователя:

$$q^2 = \frac{P_{RX \min}^{MS} \cdot SF}{P_{ш} + P_{пом.соб.} + P_{пом.сосед.}}$$

Каждая базовая станция излучает сигналы, состоящие из каналов трафика и общих каналов. Мощность общих каналов управления составляет 0.2 от максимальной мощности сигнала. Мощность каналов трафика при телефонном трафике:

$$P_{trafic} = \alpha \cdot (n_k + n_x) \cdot P_{RX \min}^{MS}$$

Мощность сигнала:

$$P_{сигн} = \frac{\alpha \cdot (n_k + n_x) \cdot P_{RX \min}^{MS}}{0.8}$$

Для обеспечения уверенного приема сигналов синхронизации  $P_{сигн} = 1.5 \cdot P_{ш}$ .

Мощность шума на входе приемника мобильной станции:

$$P_{ш}^{RX} = kT_0 + 10 \lg \Delta F + K_{ш} \text{ дБм};$$

Мощность сигнала:

$$P_{сигн} = 10 \lg(1.5) + P_{ш} = 10 \lg(1.5) + P_{ш}^{RX} \text{ дБм.}$$

Мощность передатчика базовой станции:

$$P_{BS}^{TX} = P_{сигн} + Lp - G_{BS} + L_{каб} - G_{SHO} \text{ дБм.}$$

Средний уровень мощности группового сигнала на выходе передатчика базовой станции:

$$\bar{P}_{BS}^{TX} = \int_{S_{BS}} P_{BS}^{TX}(r) \cdot W(r, \beta) ds$$

Поскольку абоненты распределены по соте равномерно, плотность вероятности нахождения абонента в точке соты с координатами  $(r, \beta)$ :

$$W(r, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2}, & r \leq R, \\ 0, & r > R. \end{cases}$$

## Этап 4: Распределение кодовых сдвигов по секторам (сотам) сети

- Все BS в сети используют один короткий код, но с разными циклическими сдвигами. По циклическому сдвигу короткого кода можно выделять и различать сигналы, излучаемые BS в разных сотах и секторах.

- Сектора и соты сети группируются в кодовые кластеры,  $\text{int}[\frac{512}{m}]$  максимальная размерность которых ( , 512),  $m \in \{3, 6\}$

- количество сот, 512 – максимально возможное количество секторов в кластере, а - секторность сот.

Средний радиус кластера равен:

$$R_{clust} = \sqrt{\frac{\text{int}(512 / m) \cdot \pi R_{cell}^2}{\pi}} = R_{cell} \sqrt{\text{int}\left(\frac{512}{m}\right)}$$

Соты и сектора с идентичными кодовыми сдвигами будут разнесены на расстояние:

$$R_{clust} \cong 2R_{cell} \sqrt{\text{int}\left(\frac{512}{m}\right)} .$$

Назначение циклических сдвигов короткого кода может быть осуществлено подобно назначению частот в сотовых сетях с частотным и частотно-временным разделением каналов – на основе кластерных структур.

# Особенности технологии W-CDMA/HSDPA

- Технология HSDPA во многом близка к пакетной передаче данных, которая используется в стандарте GSM с использованием технологии GPRS/EDGE. Передача ведется отдельными пакетами, в зависимости от состояния трассы применяют различные модуляционно-кодирующие схемы и повторную передачу неприятых пакетов.
- В технологии HSDPA отсутствуют две основные особенности W-CDMA: изменяемый коэффициент расширения спектра (*variable SF*) и быстрое управление мощностью. Вместо этого используется адаптивная модуляция и кодирование AMC (*Adaptive Modulation and Coding*), короткий размер пакета, мультикодовый режим и автоматический повтор запроса. AMC дает эффективный выигрыш в мощности за счет исключения расходов на управление мощностью.
- Коэффициент расширения спектра зафиксирован на  $SF = 16$ , это дает хорошее разрешение скорости. Размер пакета уменьшен с 10–20 до 2 мс (это соответствует трем TS), чтобы увеличить канальную скорость и повысить эффективность AMC.
- Для получения высоких пиковых скоростей используют модуляцию 16-QAM. При сочетании 16-QAM и канального кодирования со скоростью  $R_{код} = 3/4$  достигают пиковой скорости передачи данных 712 кбит/с. В наиболее помехозащищенном варианте передачи используют 4-QM со скоростью кодирования  $1/4$ , но при этом скорость передачи данных уменьшается до 119 кбит/с.

# Особенности технологии W-CDMA/HSDPA(продолжение)

- При реализации HSDPA возрастает поток информации между Node B и RNC, меняется сигнализация по протоколу RRC. Существенно увеличивается объем программного обеспечения в Node B.
- Канальный ресурс в соте по-прежнему распределяет RNC. Он выделяет коды каналам HS-PDSCH и HS-SCCH, но пакеты для передачи по этим каналам расставляет BS. Кроме того, BS буферизирует пакеты, передаваемые абонентам, ведет учет их времени пребывания в буфере, организует их повторную передачу.
- Несомненным плюсом технологии HSDPA является то, что дальность связи практически равна зоне покрытия базовой станции.
- Минусом является то, что высокая скорость передачи данных доступна только в направлении от базовой станции к мобильным абонентам, а для отправки данных в направлении от мобильных абонентов к базовой станции возможна максимальная скорость передачи данных до 384 кбит/с.
- Этот недостаток планируется устранить в технологии HSUPA (англ. *High Speed Uplink Packet Access* – *высокоскоростной пакетный радиодоступ в линии «вверх»*).

# Варианты модуляции и кодирования W-CDMA/HSDPA

| <b>TFRC</b><br>комбинация<br>модуляции и<br>кодирования<br>совместно с<br>канальным<br>ресурсом | <b>Модуляция</b> | <b>Эффект.<br/>скорость<br/>кода</b> | <b>Скорость<br/>передачи<br/>данных<br/>(1 код)<br/>кбит/с</b> | <b>Скорость<br/>передачи<br/>данных<br/>(5 код)<br/>Мбит/с</b> | <b>Скорость<br/>передачи<br/>данных<br/>(15 код)<br/>Мбит/с</b> |
|---|------------------|--------------------------------------|--|--|---|
| <b>1</b>  | <b>4-ФМ</b>      | <b>1/4</b>                           | <b>119</b>   | <b>0,6</b>   | <b>1,8</b>  |
| <b>2</b>  | <b>4-ФМ</b>      | <b>1/2</b>                           | <b>237</b>   | <b>1,2</b>   | <b>3,6</b>  |
| <b>3</b>  | <b>4-ФМ</b>      | <b>3/4</b>                           | <b>356</b>   | <b>1,8</b>   | <b>5,3</b>  |
| <b>4</b>  | <b>16-КАМ</b>    | <b>1/2</b>                           | <b>477</b>   | <b>2,4</b>   | <b>7,2</b>  |
| <b>5</b>  | <b>16-КАМ</b>    | <b>3/4</b>                           | <b>712</b>   | <b>3,6</b>   | <b>10,7</b>   |



# Распределение ресурсов

## Кодовый ресурс

|     |     |     |     |     |     |  |  |     |     |     |  |  |  |  |  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|
| 256 | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 |  |  | 128 |     | 128 |  |  |  |  |  |
| 256 |     |     |     |     |     |  |  |     |     |     |  |  |  |  |  |
| 256 | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 |  |  | 128 |     | 128 |  |  |  |  |  |
| 256 |     | CS  |     |     |     |  |  | 128 |     |     |  |  |  |  |  |
| 64  | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 |  |  | 128 | PS  | 128 |  |  |  |  |  |
|     | 128 | 128 |     | 128 | 128 |  |  | 128 |     | 128 |  |  |  |  |  |
|     |     |     | 64  |     |     |  |  |     |     |     |  |  |  |  |  |
| 256 | 128 | 128 | PS  | 128 | 128 |  |  | 128 | 128 | 128 |  |  |  |  |  |
| 256 |     |     |     |     |     |  |  |     |     |     |  |  |  |  |  |
| 128 | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 |  |  | 128 | 128 | 128 |  |  |  |  |  |
|     |     |     |     |     |     |  |  |     |     |     |  |  |  |  |  |
| 128 | 128 | 128 | 128 | 128 | 128 |  |  | 128 | 128 | 128 |  |  |  |  |  |
|     |     |     |     |     |     |  |  |     |     |     |  |  |  |  |  |

## Ресурс по мощности



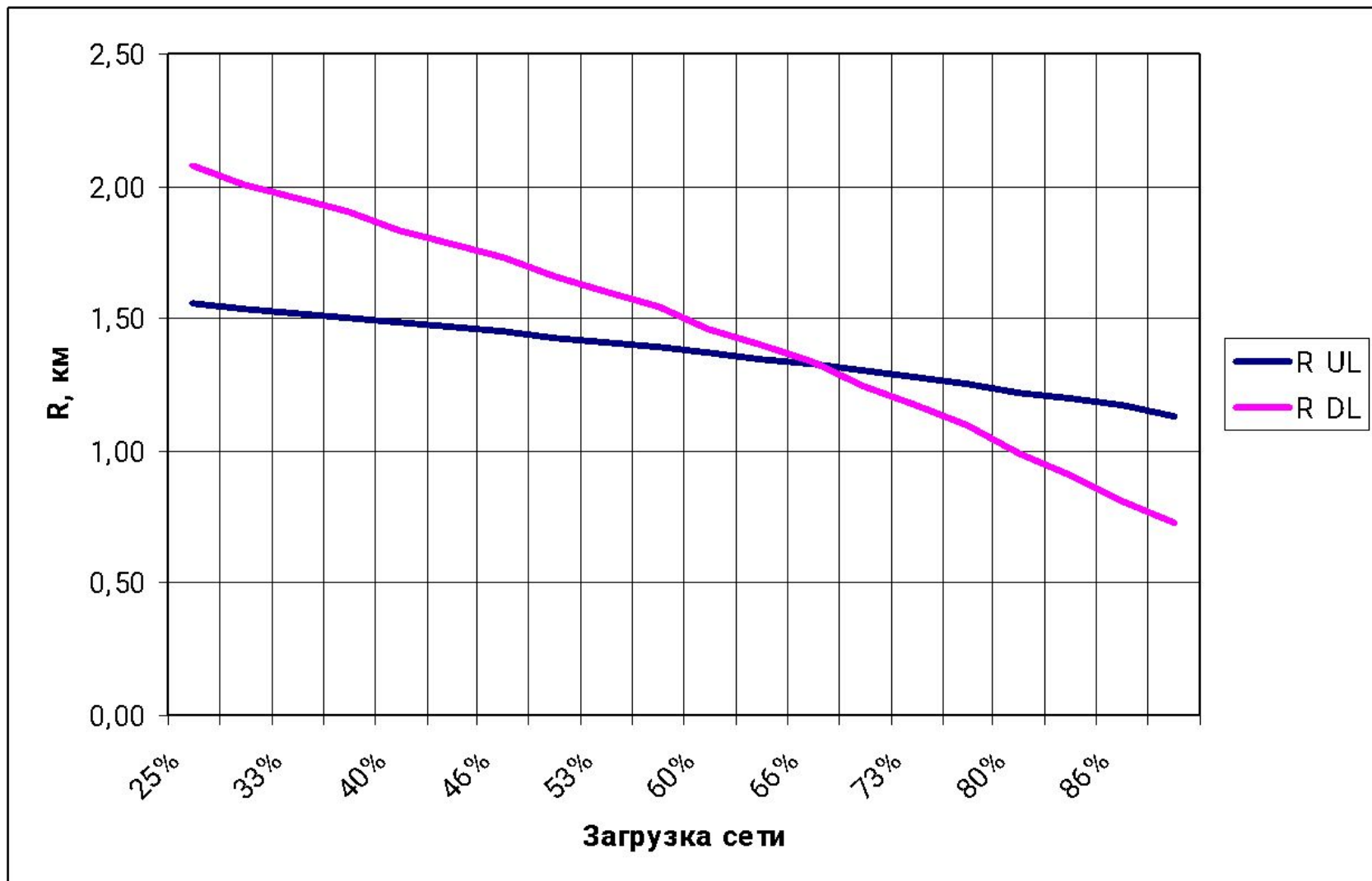
# Управление доступом в сетях W-CDMA/HSDPA



# Алгоритм планирования сети WCDMA-HSDPA



# Зависимость радиуса от загрузки сети



## Количество абонентов при различной загрузки сети WCDMA R'99

30%

| Удаленность от базовой станции, км | CS | PS64 | PS128 | PS256 | PS384 |
|------------------------------------|----|------|-------|-------|-------|
| $R/3$                              | –  | –    | –     | –     | –     |
| $2R/3$                             | 11 | 5    | 2     | 1     | 0     |
| $R$                                | 2  | 1    | 0     | 0     | 0     |

70%

| Удаленность от базовой станции, км | CS | PS64 | PS128 | PS256 | PS384 |
|------------------------------------|----|------|-------|-------|-------|
| $R/3$                              | –  | –    | –     | –     | –     |
| $2R/3$                             | 55 | 26   | 13    | 5     | 4     |
| $R$                                | 13 | 6    | 3     | 1     | 1     |

90%

| Удаленность от базовой станции, км | CS | PS64 | PS128 | PS256 | PS384 |
|------------------------------------|----|------|-------|-------|-------|
| $R/3$                              | –  | –    | –     | –     | –     |
| $2R/3$                             | –  | –    | –     | –     | –     |
| $R$                                | 46 | 22   | 11    | 5     | 3     |

## Расчет параметров сети

| Параметры  | 30%  | 70%  | 90%  |
|--|------|------|------|
| Радиус $R$ , км  | 1,53 | 1,24 | 0,72 |
| Площадь соты $S_{BS} = \frac{9\sqrt{3}}{8} R^2$ , км <sup>2</sup>  | 4,6  | 2,9  | 1    |
| Количество NodeB для HSDPA $N_{NodeBHSDPA} = \frac{S}{S_{BS}}$   | 6    | 9    | 25   |
| Количество NodeB, которое необходимо добавить для новой сети WCDMA-HSDPA<br><br>$N = N_{NodeBHSDPA} - N_{NodeBR'99}$ | 1    | 4    | 20   |

# Характеристики прямого канала при работе в режиме мобильного Интернета

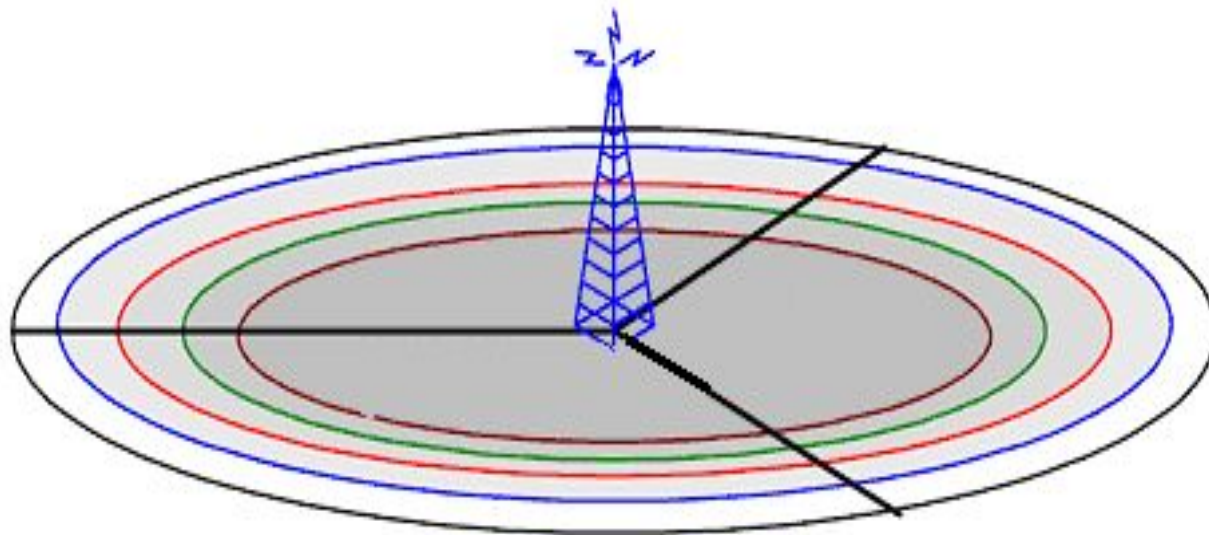
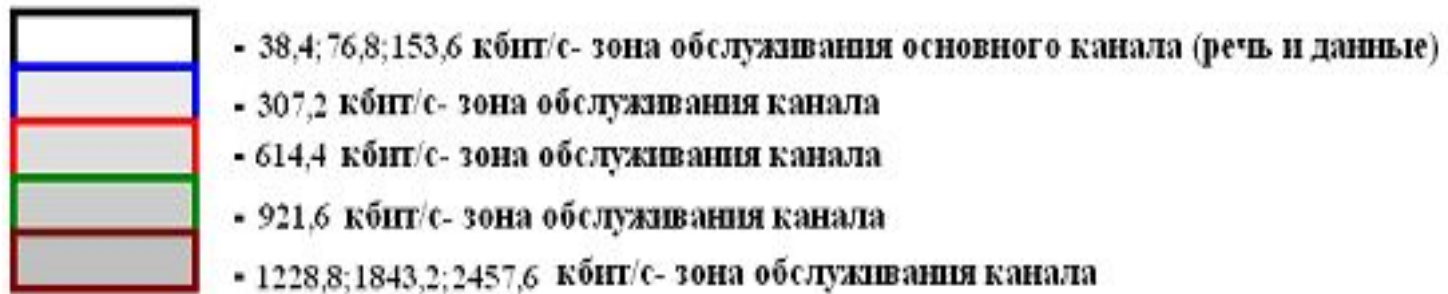
## Адаптивные схемы модуляции и кодирования

| Показатель | Скорость передачи (Кбит/с) | Количество нужных слотов | Биты в пакете | Скорость кода | Тип модуляции |
|------------|----------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1          | 38,4                       | 16                       | 1024          | 1/5           | QPSK          |
| 2          | 76,8                       | 8                        | 1024          | 1/5           | QPSK          |
| 3          | 153,6                      | 4                        | 1024          | 1/5           | QPSK          |
| 4          | 307,2                      | 2                        | 1024          | 1/5           | QPSK          |
| 5          | 614,4                      | 1                        | 1024          | 1/3           | QPSK          |
| 6          | 921,6                      | 2                        | 3072          | 1/3           | QPSK          |
| 7          | 1228,8                     | 1                        | 2048          | 1/3           | 8-PSK         |
| 8          | 1843,2                     | 1                        | 3072          | 1/3           | 16-QAM        |
| 9          | 2457,6                     | 1                        | 4096          | 1/3           | 16-QAM        |

## Требуемое отношение сигнал/помеха в прямом канале

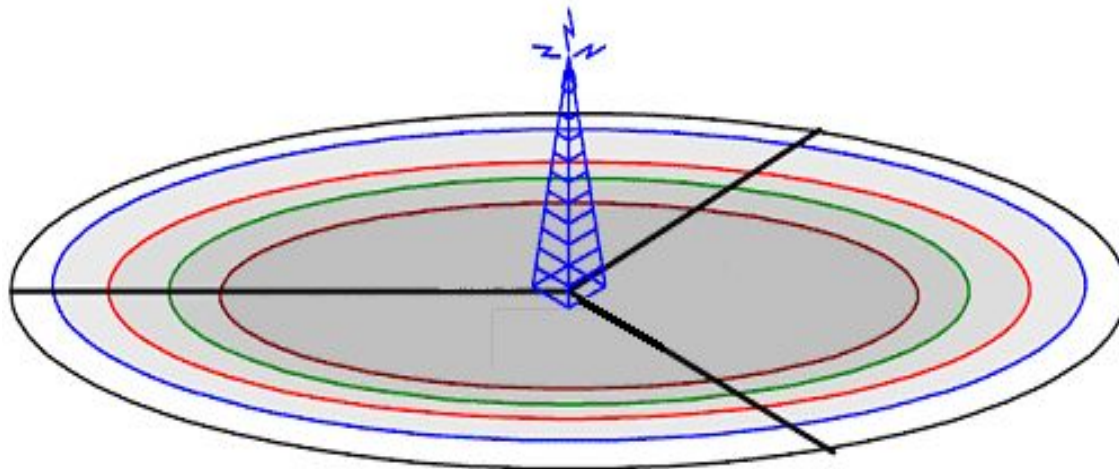
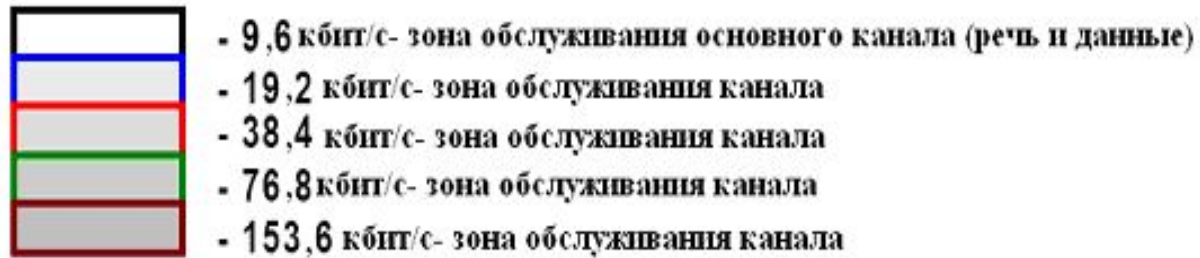
| Скорость передачи данных | Требуемое отношение S/N [дБ] |
|--------------------------|------------------------------|
| 38,4                     | -7                           |
| 76,8                     | -3,5                         |
| 153,5                    | -2,5                         |
| 307,2                    | 1,5                          |
| 614,4                    | 4                            |
| 921,6                    | 5,5                          |
| 1228,8                   | 8,5                          |
| 1843,2                   | 11                           |
| 2457,6                   | 12,5                         |

# Распределение скоростей передачи данных в прямом канале в зоне обслуживания базовой станции при работе в режиме мобильного Интернета





# Распределение скоростей передачи данных в обратном канале в зоне обслуживания базовой станции при работе в режиме мобильного Интернета



# Распределение скоростей передачи данных в зоне обслуживания

## *Канал «вниз»*

| Параметр                                   | Скорость в каналах трафика, кбит/с |       |       |       |                              | Средняя скорость передачи в секторе, кбит/с |
|--|------------------------------------|-------|-------|-------|------------------------------|---|
|  | 38,4;<br>76,8;<br>153,6            | 307,2 | 614,4 | 921,6 | 1228,8;<br>1843,2;<br>2457,6 |   |
| Вероятность нахождения в зоне обслуживания | 0,19                               | 0,17  | 0,28  | 0,2   | 0,16                         | 656,88                                      |

## *Канал «вверх»*

| Параметр                                   | Скорость передачи данных, кбит/с |      |      |      |       | Средняя пропускная способность в секторе, кбит/с | Количество абонентов на обслуживание, аб |     |     |
|--|----------------------------------|------|------|------|-------|--|--|-----|-----|
|  | 9,6                              | 19,2 | 38,4 | 76,8 | 153,6 |  | δ, %                                     |     |     |
|  |                                  |      |      |      |       |  | 25                                       | 50  | 100 |
| Вероятность нахождения в зоне обслуживания | 0,05                             | 0,05 | 0,1  | 0,4  | 0,4   | 97,44  | 455                                      | 359 | 207 |
| Вероятность задержки доступа – 2%.         |                                  |      |      |      |       |  |  |     |     |

## Пропускная способность сектора

|     | Скорость в каналах трафика, кбит/с |           |           |           |                              | Параметр     |        |       |      |          |
|-----|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|--------------|--------|-------|------|----------|
|     | 38,4;<br>76,8;<br>153,6            | 307,2     | 614,4     | 921,6     | 1228,8;<br>1843,2;<br>2457,6 |              |        |       |      |          |
|     | $N_{аб123}$                        | $N_{аб4}$ | $N_{аб5}$ | $N_{аб6}$ | $N_{аб789}$                  | $V_{\Sigma}$ | $S$    | $T_2$ | $Z$  | $V_{ср}$ |
| аб  | аб                                 | аб        | аб        | аб        | аб                           | кбит/с       | аб     | с     | %    | кбит/с   |
| 455 | 86                                 | 77        | 127       | 91        | 73                           | 681,59       | ПР. Т. |       | 100  | ПР. Т    |
| 359 | 68                                 | 61        | 101       | 72        | 57                           | 538,94       | 3,6    | 2,688 | 85,5 | 113      |
| 207 | 39                                 | 35        | 58        | 41        | 33                           | 313,06       | 0,4    | 0,54  | 49,3 | 287,8    |

Обозначения:  $N_{аб}$  – число абонентов в секторе в ЧНН,  $N_{аб*i*}$  – число абонентов в сегменте зоны обслуживания со скоростью  $i$ ,  $i$  – номер сегмента зоны обслуживания, которая соответствует определённой скорости передачи данных,  $V_{\Sigma i}$  – требуемая пропускная способность, приходящаяся на абонентов, передающих данные в своём сегменте зоны обслуживания,  $V_{\Sigma}$  – требуемая пропускная способность сектора,  $S$  – число пользователей в очереди на слот,  $T_2$  – время загрузки в очереди,  $Z$  – занятость временных слотов,  $V_{ср}$  – средняя скорость, приходящаяся на абонента в прямом канале, ПР.Т. – перераспределение трафика

# **ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ LTE**

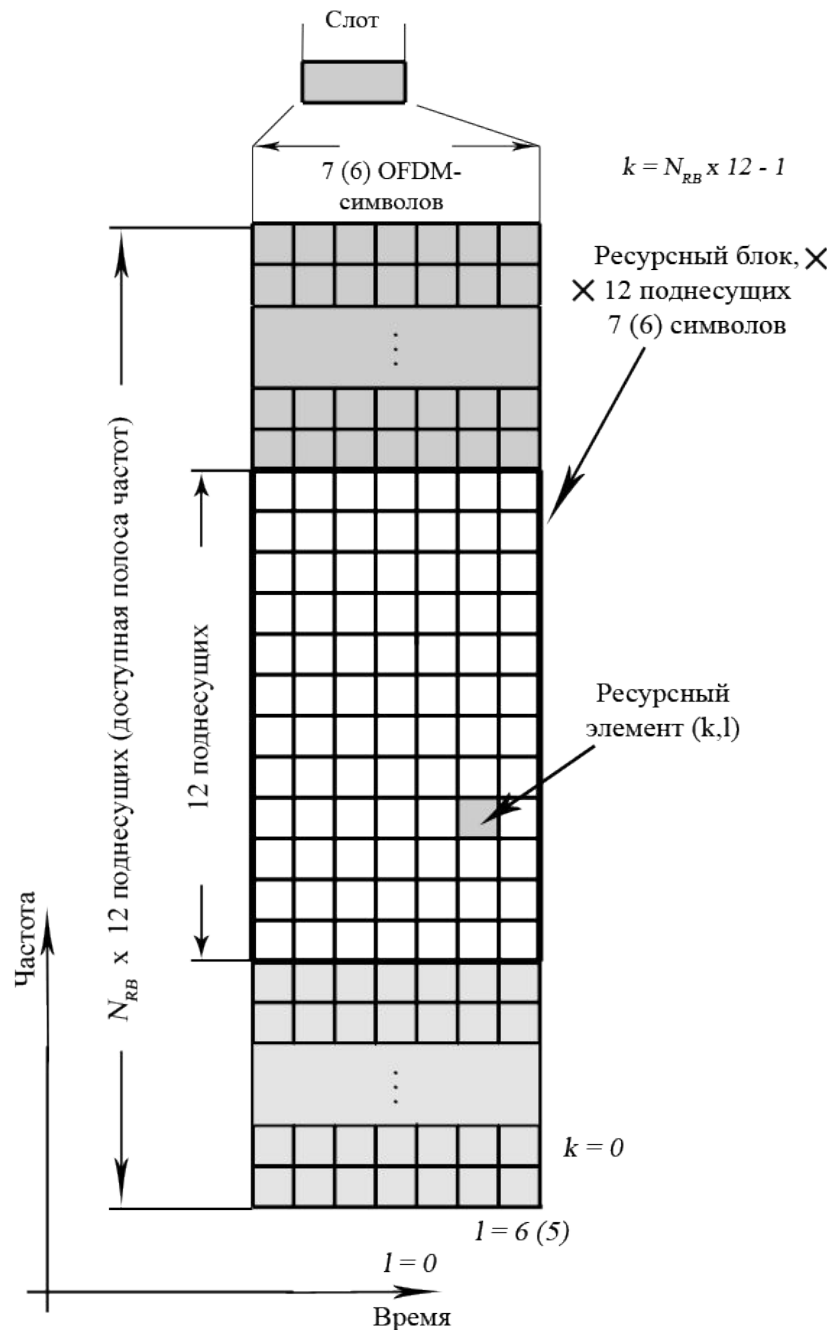
# Основные технические характеристики стандарта LTE

| Характеристика   |                  | Значение                          |
|--|------------------|-----------------------------------|
| Полоса частот, МГц   |                  | 1.4; 3; 5; 10; 15; 20             |
| Метод многостанционного доступа  | Нисходящий канал | OFDMA                             |
|  | Восходящий канал | SC-FDMA                           |
| Символьная скорость  |                  | 14000 символов/с                  |
| Помехоустойчивое кодирование   |                  | сверточные коды,<br>турбо коды    |
| Длительность радиокадра, мс  |                  | 10                                |
| Минимальный интервал между кадрами, мс                                       |                  | 1                                 |
| Стандартный шаг между поднесущими, кГц (канал «вниз»)                        |                  | 15                                |
| Информационная единица в канале  |                  | ресурсный блок                    |
| Количество поднесущих на ресурсный блок (занимаемая ресурсным блоком полоса) |                  | 12 (180 кГц)                      |
| Циклический префикс, мкс   | Стандартный      | 4,7 (5,2 – перед первым символом) |
|  | Расширенный      | 16,7                              |
| Дуплексный режим   |                  | Частотный (FDD)                   |
|  |                  | Временной (TDD)                   |
| Модуляция сигнала  |                  | QPSK/16QAM/64QAM                  |
| Максимальная эффективная излучаемая мощность, дБм                            | UE               | 23                                |
|  | eNodeB           | 46                                |

## Требуемое разнесение по частоте стандартов LTE и GSM, работающих в общей полосе частот.

| Полоса частот, занимаемая системой LTE | Разнесение по частоте |
|--|-----------------------|
| 10 МГц (50 ресурсных блоков)           | 5 МГц                 |
| 5 МГц (25 ресурсных блоков)            | 2.5 МГц               |
| 3 МГц (15 ресурсных блоков)            | 1.6 МГц               |
| 1.4 МГц (6 ресурсных блоков)           | 0.8 МГц               |

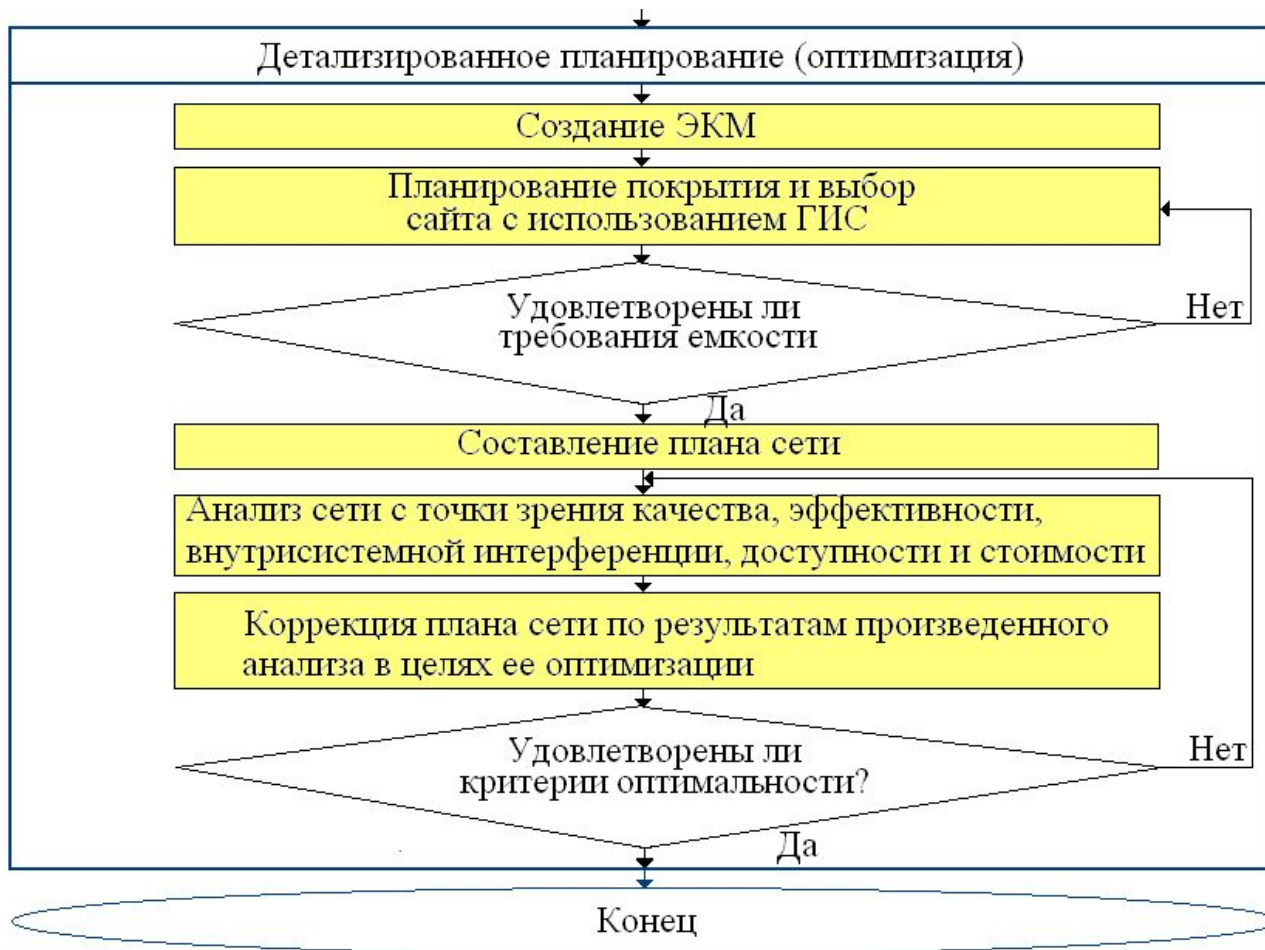
Ресурсная сетка LTE при стандартном шаге поднесущих  $\Delta f = 15$  кГц



# Алгоритм планирования сети LTE



# Алгоритм планирования сети LTE(продолжение)





# Методики оценки бюджета потерь и зоны покрытия

Тип передаваемых данных – VoIP, скорость передачи: 39,7 кбит/с

$\Delta f$  системы: 10 МГц

Высоты подъёма антенны абонентских станций 1.5 м, а базовых станций 30 и 50 м в городской и пригородной зоне соответственно

Максимально допустимые потери при распространении в канале равны:

$$L = P_{TX} + G_{TX} - P_{RX} - B_{BODY} + G_{RX} - B_{fid} - IM - L_{slow},$$

где  $P_{TX}$  - мощность передатчика,  $G_{TX}$  - коэффициент усиления передающей антенны,  $P_{RX}$  - чувствительность приемника,  $B_{BODY}$  - потери в теле абонента,  $G_{RX}$  - коэффициент усиления приемной антенны,  $B_{fid}$  - потери в фидере,  $IM$  - запас по интерференции,  $L_{slow}$  - запас на медленные замирания, берется равным 10.3 дБ.

# Методики оценки бюджета потерь и зоны покрытия (продолжение)

Далее производится оценка зоны покрытия сети по моделям распространения Okumura–Hata и COST 231 – Hata.

Для GSM 1800 и LTE 1800 (город):

$$L = 45,5 - 13,82 \lg H_{BS} + 35,4 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{MS} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$$

$$R = 10^{\frac{L - 45,5 + 13,82 \lg H_{BS} - 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{MS}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BS})}}$$

Для GSM 1800 и LTE 1800 (пригород):

$$L = 45,5 - 13,82 \lg H_{BS} + 35,4 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{MS} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$$

$$R = 10^{\frac{L - 45,5 + 13,82 \lg H_{BS} - 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{MS}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BS})}}$$

Для GSM 900 и LTE 900 (город):

$$L = 74,52 - 13,82 \lg H_{BS} + 26,16 \lg F - 3,2 [\lg(11,75 \cdot H_{MS})]^2 + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R$$

$$R = 10^{\frac{L - 74,52 + 13,82 \lg H_{BS} - 26,16 \lg F + 3,2 (\lg(11,75 \cdot H_{MS}))^2}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BS})}}$$

Для GSM 900 и LTE 900 (пригород):

$$L = 63,35 - 13,82 \lg H_{BS} + 27,72 \lg F - 2 (\lg F / 28)^2 + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \cdot \lg R - (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{MS}$$

$$R = 10^{\frac{L - 63,35 + 13,82 \lg H_{BS} - 27,72 \lg F + 2 (\frac{\lg F}{28})^2 + (1,1 \lg F - 0,7) H_{MS}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BS})}}$$

# Методики оценки бюджета потерь и зоны покрытия (продолжение)

## Результаты для линии «вниз»:

| Параметр                            | GSM 1800 | GSM 900 | LTE 1800 | LTE 900 |
|-------------------------------------|----------|---------|----------|---------|
| Допустимые потери на трассе L, дБ   | 149.2    |         | 155.1    |         |
| Радиус зоны покрытия (город), км    | 1.9      | 4.4     | 2.8      | 6.5     |
| Радиус зоны покрытия (пригород), км | 2.5      | 5.8     | 3.5      | 10.5    |

## Результаты для линии «вверх»:

| Параметр                            | GSM 1800 | GSM 900 | LTE 1800 | LTE 900 |
|-------------------------------------|----------|---------|----------|---------|
| Допустимые потери на трассе L, дБ   | 146      |         | 149      |         |
| Радиус зоны покрытия (город), км    | 1.6      | 3.6     | 1.9      | 4.3     |
| Радиус зоны покрытия (пригород), км | 1.9      | 4.6     | 2.3      | 6.4     |

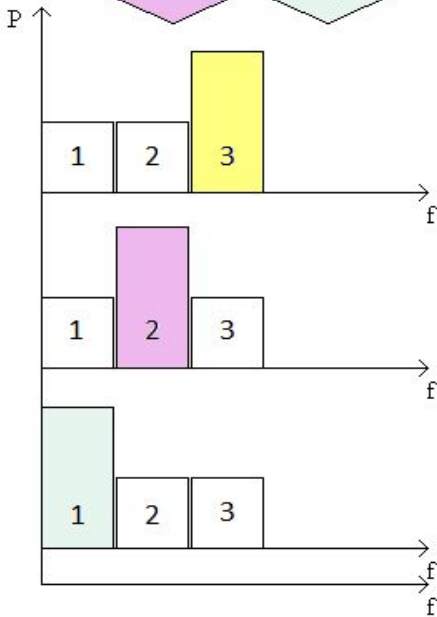
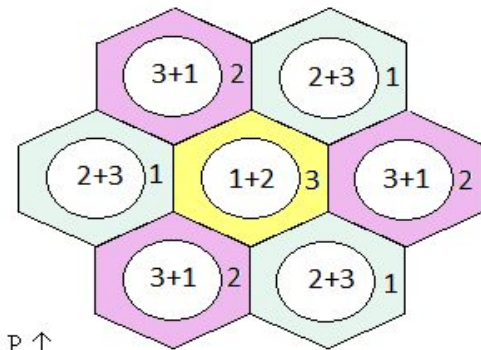
# Методики оценки бюджета потерь и зоны покрытия (продолжение)

**Оценка бюджета потерь показывает, что сети GSM и LTE, которые развертываются в одном диапазоне, имеют близкие показатели допустимых потерь на трассе прохождения радиосигнала.**

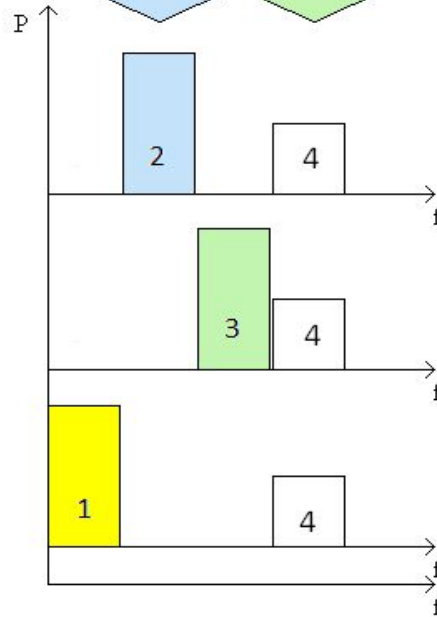
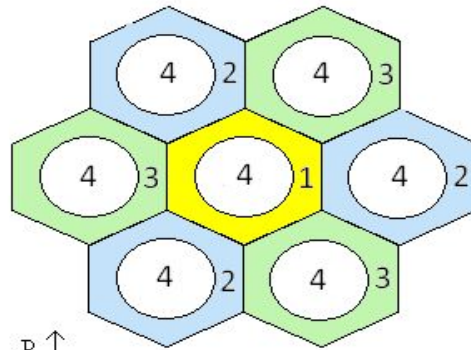
**Стандарт LTE допускает возможность развертывания сегмента LTE в уже существующих диапазонах систем сотовой связи стандарта GSM.**

**«Гибкая» полоса LTE дает возможность производить реформирование спектра довольно просто, так как полоса начинается с 1.4 МГц или 3 МГц, а затем она может увеличиваться, при постепенном развитии сети LTE, и, соответственно, уменьшении трафика сети GSM на которую LTE накладывается.**

# Частотное планирование сети LTE



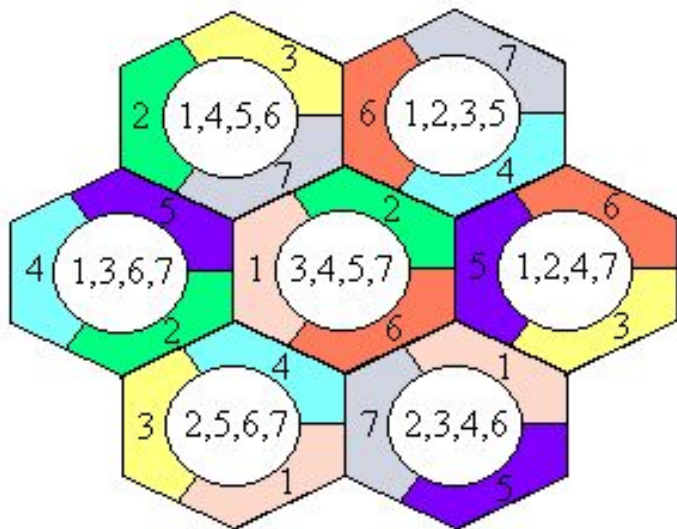
а) Мягкое повторное использование частот с тремя поднесущими



б) Дробное повторное использование частот с четырьмя поднесущими

Технология OFDMA позволяет управлять мощностью передаваемых eNB поднесущих, в связи с чем становится возможным применение различных методов повторного использования частот. Наибольший интерес представляют мягкое и дробное, так как они повышают пропускную способность каналов. При мягком повторном использовании частот коэффициент повторного использования стремится к единице, то есть, в каждой соте может использоваться вся полоса системы. При дробном ПИЧ коэффициент меньше единицы.

## Частотное планирование сети LTE(продолжение)



Оценка допустимой скорости передачи в канале для «близких» и «далеких» пользователей в области  $u$ , соответственно:

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2(1 + \eta1(u)) \text{ и } R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2(1 + \eta2(u)),$$

где  $W$  – полоса системы,  $\eta$  – SINR.

При использовании мягкого повторного использования частот экспериментально получено увеличение емкости на 12% в секторизованных сотах и на 21% в несекторизованных сотах.

Повторяя данный частотный кластер, можно построить сеть LTE, так как поднесущие в системе ортогональны, а, следовательно, внутрисотовую интерференцию нет необходимости учитывать, а межсотовая – снижается за счет выделения пользователям, находящимся на границе соты, различных подполос частот.



# Частотное планирование сети LTE(продолжение)

| Линия   | DL   | UL   |
|---|------|------|
| Оценка допустимой скорости передачи в канале для пользователей, расположенных в центре соты, Мбит/с   | 14.8 | 10.1 |
| Оценка допустимой скорости передачи в канале для пользователей, расположенных на границе соты, Мбит/с | 2.5  | 1.8  |
| Оценка допустимой скорости передачи в соте, Мбит/с  | 17.3 | 12.9 |
| Оценка допустимой скорости передачи БС, Мбит/с  | 51.8 | 38.7 |

**Расчет произведен без учета модуляционно-кодирующих схем, применение которых в LTE адаптивно (за назначение модуляционно-кодирующих схем отвечают планировщики; назначение производится динамически, в зависимости от качества канала в момент назначения и от заданных параметров QoS для заданного типа трафика).**

## Расчет абонентской емкости сети LTE

Необходимо произвести расчет абонентской емкости для тотальной услуги – VoIP. Каждой соте при мягком повторном использовании частот выделяется вся полоса системы.

Оценим абонентскую емкость для полосы 10 МГц. Примем в расчет то, что для организации речевого канала со скоростью 39.7 кбит/с необходим 1 ресурсный блок, в частотной области занимающий 180 кГц. Следовательно, можем организовать 55 каналов.

Для систем сотовой связи вероятность блокировки равна 1%, расчетная абонентская нагрузка составляет  $A_a = 0.025$  Эрл на абонента. По таблице Эрланга для системы с отказами получаем по исходным данным нагрузку, которую может выдержать сайт  $A_s = 42.4$  Эрл.

Посчитаем количество абонентов, которым будет предоставлена услуга VoIP в ЧНН:

$$N_a = \frac{A_s}{A_a} = \frac{42.2}{0.025} = 1696$$

Выделение ресурсов для других видов трафика производит планировщик в зависимости от имеющегося свободного ресурса и качества каналов связи.