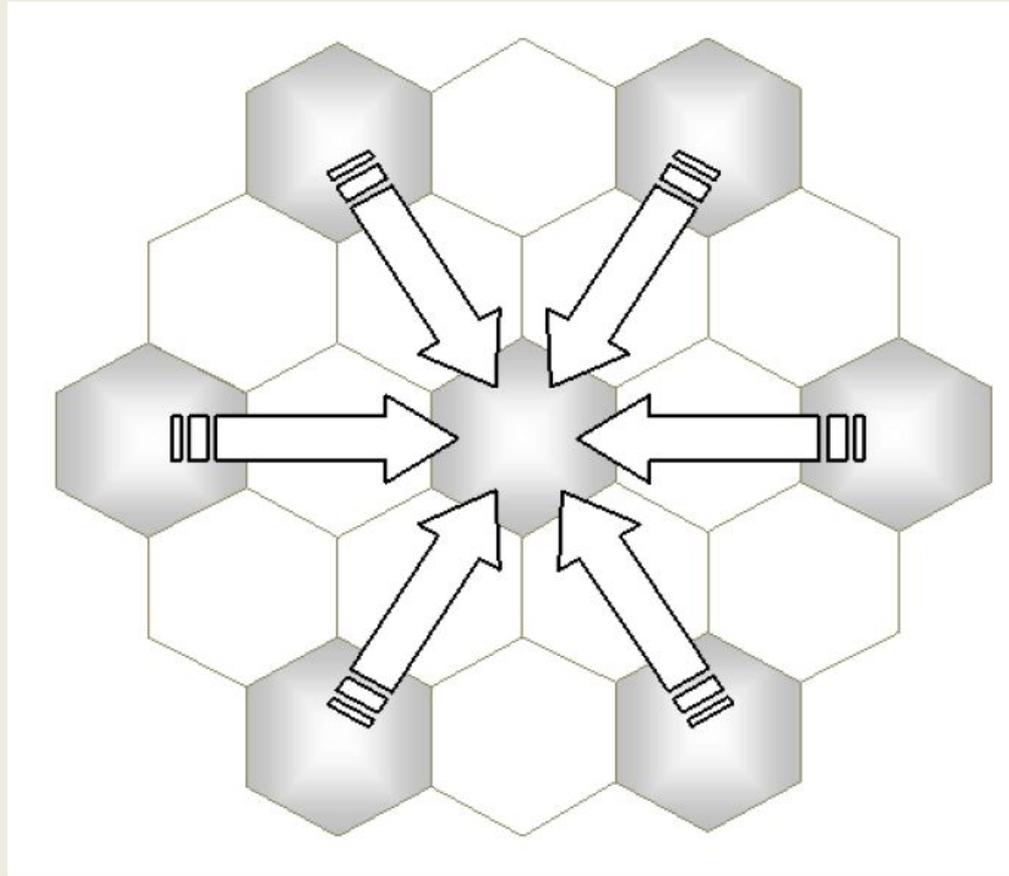


**Общие принципы  
планирования сетей  
подвижной связи 2G - 4G**

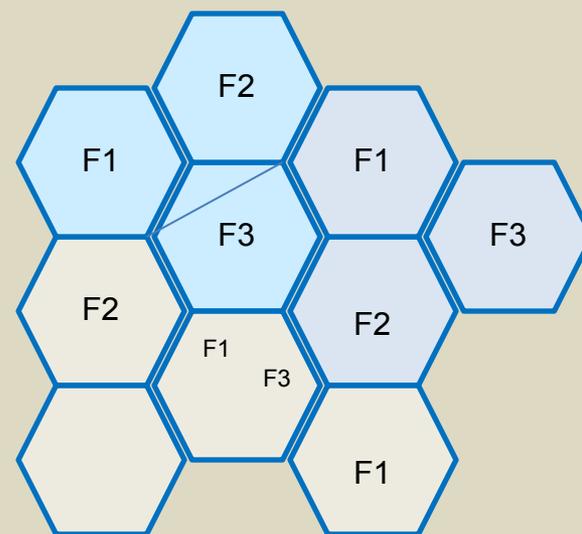
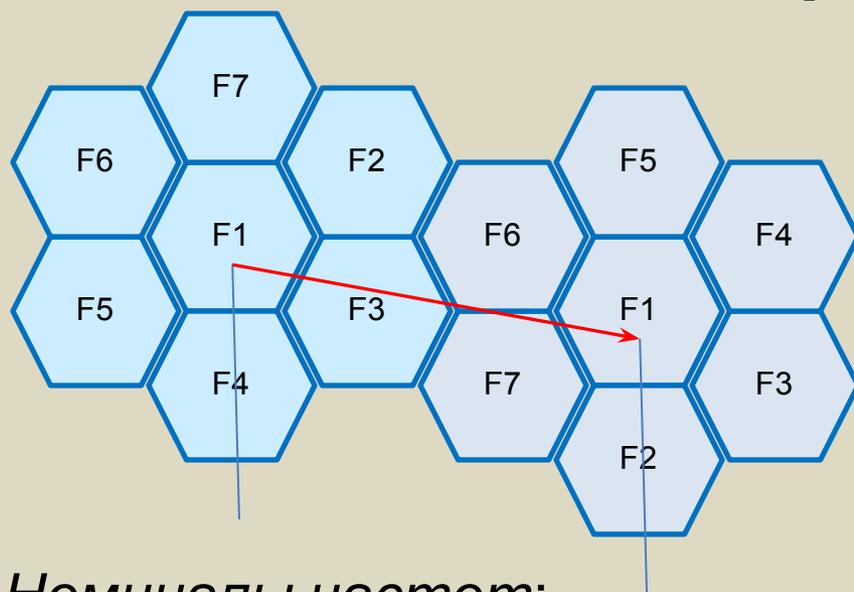
# **Проблемы, возникающие при передаче радиосигналов**

- **Затухание (Path loss)**
- **Эффект тени (Shadowing)**
- **Многолучевость (Multipath fading)**
- **Выравнивание во времени (Time Alignment)**
- **Комбинированные потери сигнала (Combined Signal Loss)**

# Сота и помехи по основному каналу приема



# Частотно-территориальное планирование



*Номиналы частот:*

- в диапазоне 800 МГц

$$F_{\text{прм}} = 890 + 0,2 \times n,$$

где  $n = 1, 2, \dots, 124$

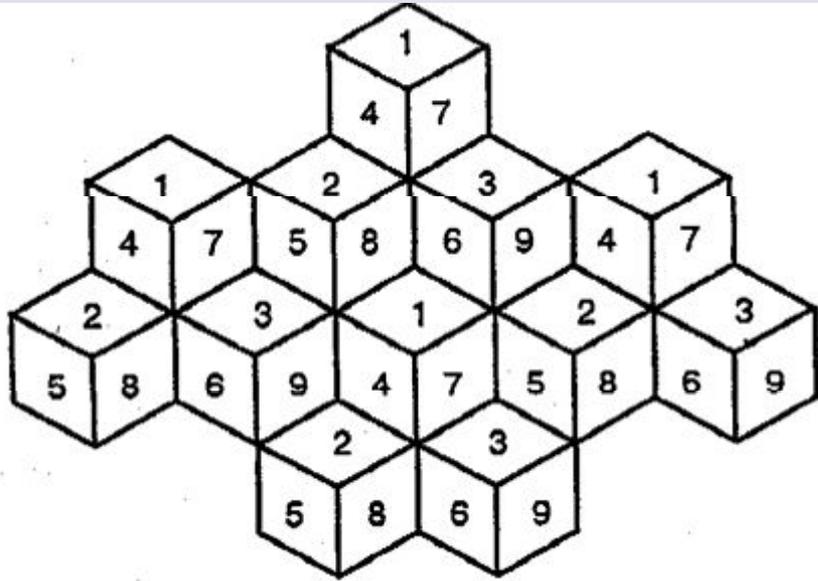
$$F_{\text{прд}} = F_{\text{прм}} + 45 \text{ МГц};$$

- в диапазоне 1800 МГц

$$F_{\text{прм}} = 1710,2 + 0,2 \times (n - 512),$$

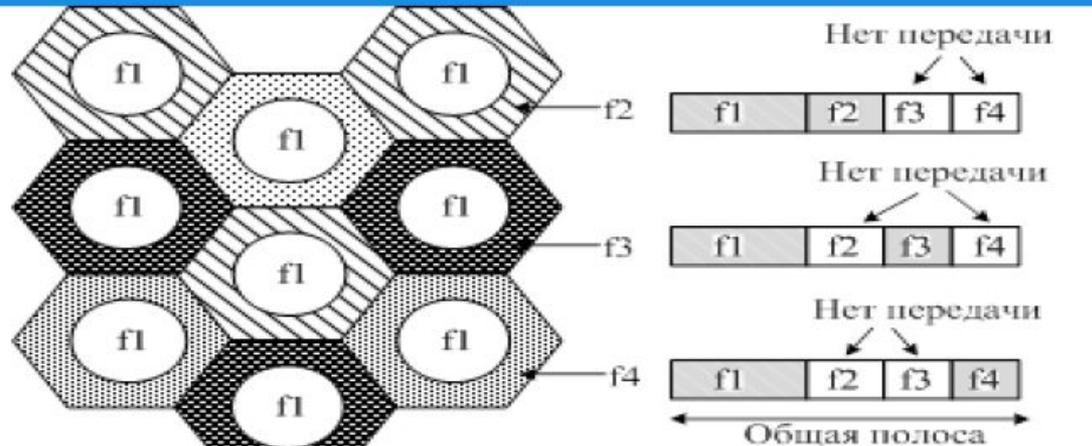
где  $n = 512, 513, \dots, 885$

$$F_{\text{прд}} = F_{\text{прм}} + 90 \text{ МГц};$$

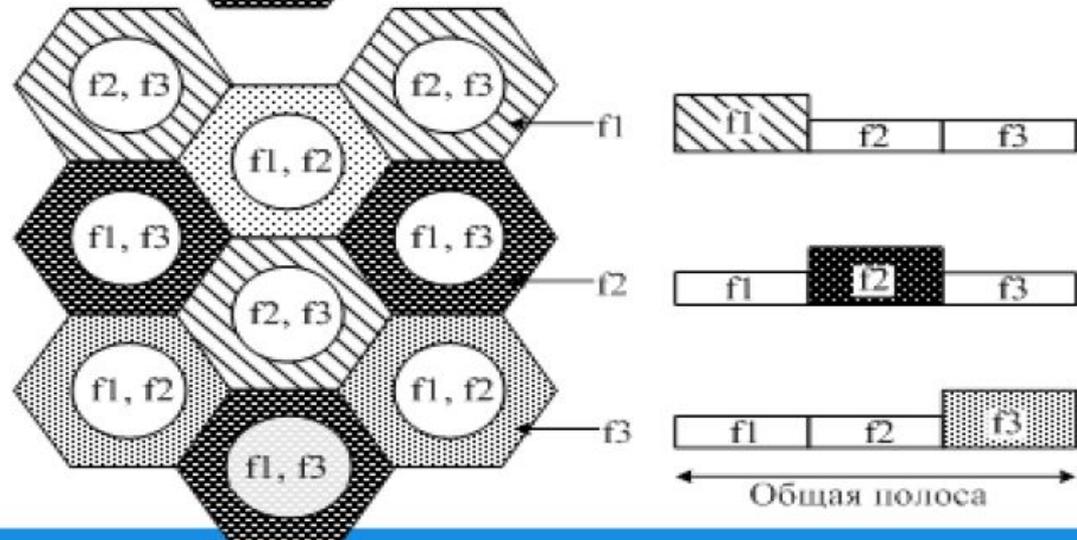


# Планирование в LTE

1) Кластер с дробным назначением частот



2) Кластер с мягким назначением частот



- Планирование сетей сотовой связи GSM и WCDMA **осуществляется для оказания в первую очередь тотальной услуги, т.е. исходя из заданной абонентской нагрузки по передаче речи в час наибольшей нагрузки (ЧНН).** При планировании сетей сотовой связи для расчета абонентской нагрузки при передаче речи с коммутацией каналов обычно используют модель системы с отказами (модель Эрланга В).
- Планирование систем WCDMA отличается от планирования систем GSM тем, что определение допустимого числа каналов трафика, приходящихся на сектор базовой станции, **производится по результатам анализа обратного канала связи.**
- Для телефонной нагрузки 1 Эрл соответствует непрерывному использованию одного телефонного канала в течение одного часа, т.е. если абонент проговорил с другим абонентом в течение одного часа, то на телекоммуникационном оборудовании была создана нагрузка в 1 Эрл.
- Интенсивность телефонной нагрузки определяется величиной произведения математического ожидания числа вызовов за единицу

- Таким образом, определение пространственных параметров сетей стандартов GSM и WCDMA связано с **допустимой нагрузкой на сектор** ( $A_c$ ) при **заданной вероятности отказа** в обслуживании (блокировки вызова  $P_{bl}$ ).
- Величина допустимой нагрузки на сектор соты в час наибольшей нагрузки  $A_c$  находится из таблиц Эрланга.
- После определения величины  $A_c$  находятся искомые пространственные параметры сетей, а именно:
  - число абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией в ЧНН;
  - число базовых станций в сети;
  - радиус соты, исходя из пропускной способности базовой станции в ЧНН.

# 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, Мобильный интернет – СМО с очередями и приоритетами, Потоковое видео – СМО без задержек	Речь – СМО с отказами, Мобильный интернет – СМО с очередями и приоритетами	Речь – СМО с отказами, Мобильный интернет – СМО с очередями и приоритетами, Потоковое видео – СМО без задержек

# Этапы планирования

Подготовка электронной карты местности (ЭКМ), содержащей данные, описывающие рельеф местности, застройку территории, лесные и водные массивы

Построение исходной сети (*сети начального приближения*)

Привязка участков развертывания базовых станций к карте местности и итеративная оптимизация параметров базовой сети с использованием геоинформационной базы данных и специального программного обеспечения, позволяющего произвести расчет напряженности поля сигнала в зоне действия сети

# Частотный кластер

- Полагаем, что построение сети LTE целесообразно по аналогии с сетями GSM осуществлять *на основе частотных кластеров* (англ. *Cell cluster*). В сети GSM под сотовым (частотным) кластером понимается группа примыкающих друг к другу сот, в пределах которой повторное использование одних и тех же частот недопустимо из-за превышения порогового уровня взаимных помех.
- В этом случае требуется определиться с типом частотного кластера и после его выбора сеть сотовой связи строят, повторяя одни и те же частотные кластеры в пределах зоны обслуживания сети.
- Критерием при выборе частотного кластера является выполнение требований по допустимому отношению сигнал/помеха ( $c/n$ )тр.

# Частотный кластер

- В качестве помех в данном случае рассматриваются помехи абонентским станциям, которые создают базовые станции соседних кластеров, работающих на повторяющихся частотах.
- Вероятность невыполнения требований по допустимому отношению сигнал/помеха в точке приема  $P(C)$  оценивает устойчивость связи при перемещении подвижного абонента в зоне обслуживания сети. Обычно вероятность  $P(C)_{тр}$  принимают равной 0,1...0,15.
- Оптимальным будет частотный кластер, для которого  $P(C) < P(C)_{тр}$ .
- При построении частотного кластера в сетях GSM используется *жесткое назначение групп частот* в сотах (секторах) базовых станций, входящих в состав частотного кластера.

# 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.
- 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 (кодовых сдвигов).
- 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.
- 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 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.

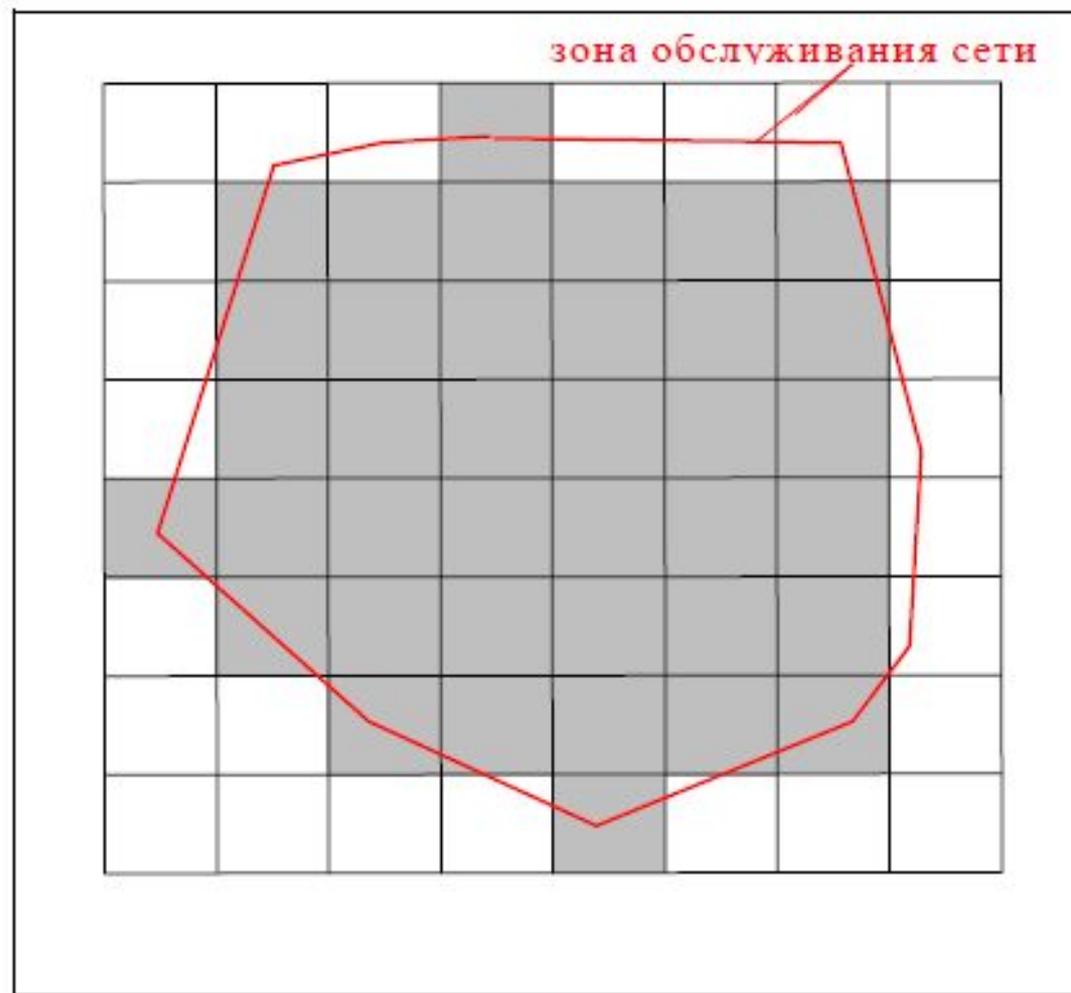


**Алгоритм планирования сети сетей GSM**

# Параметры, учитываемые при планировании

Тип информации	Параметры
Планируемая территория	Площадь зоны покрытия, численность населения для выбранного района/города/области; Тип местности: городская, пригородная, сельская;
Параметры нагрузки	Нагрузка на одного абонента; Плотность абонентов на планируемой территории; Требования к росту нагрузки; Начальная емкость сети;
Оборудование	Краткий перечень технических параметров, используемых при планировании; Стоимость оборудования; Антенно-мачтовые сооружения;
Другие критерии сетевого проекта	Битовая вероятность ошибки; Процент уменьшения зоны покрытия ячейки из-за помех;
Вопросы регламентации	Наличие частотного ресурса и возможные ограничения при получении лицензии на использование радиочастотного ресурса; Возможные ограничения, связанные с размещением и размерами антенно-мачтовых сооружений;
Параметры связанные с распространением радиоволн	Варианты моделей распространения радиоволн; Запас на временные замирания; Запас на затенение.

# I этап

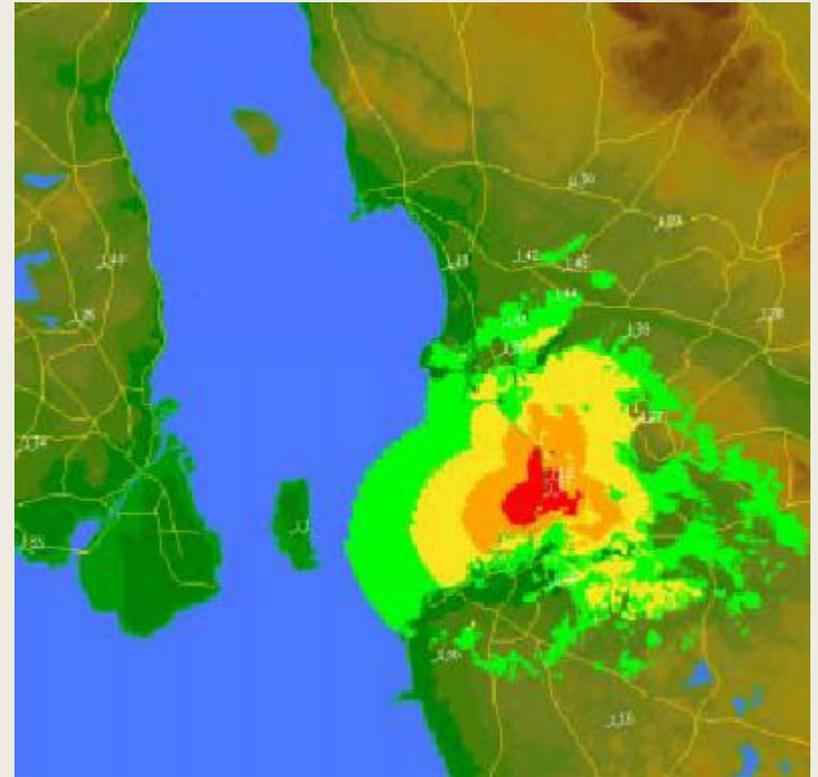
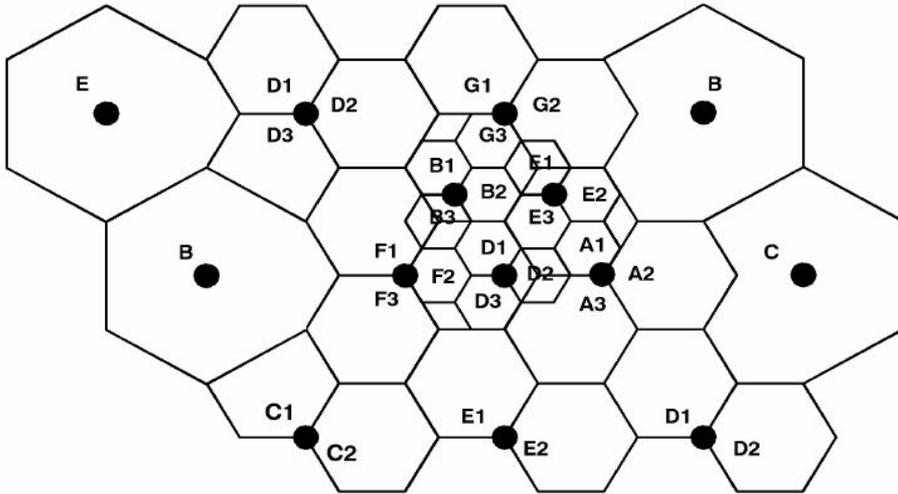


6

Рисунок 5.1 - Деление территории сети на фрагменты

# II. Идеальная и реальная форма сот

## СОТ



## 2 Этапы выполнения курсовой работы

При выполнении курсовых работ должна быть соблюдена следующая последовательность этапов:

- 1) Выполнение темы, предлагаемой в методических указаниях, или выбор собственной темы с обоснованием ее актуальности.
- 2) Подбор и изучение технической литературы по теме курсовой работы.
- 3) Оформление задания на курсовую работу и согласование с руководителем.
- 4) Выполнение курсовой работы.
  - 1.1. Анализ исходных данных или выполнение аналитического обзора по выбранной тематике.
  - 1.2. Выполнение требуемых расчетов.
  - 1.3. Подготовка отчета.
  - 1.4. Формулирование выводов и заключения по итогам проведенного исследования.
- 5) Защита курсовой работы.

# Исходные данные

## Четные

- расчет GSM
- Кол-во радиоканалов на один сектор – 2
- Секторность соты - 3

## Нечетные

- расчет LTE
- Кол-во радиоканалов на один сектор – 1
- Секторность соты - 6

Площадь зоны обслуживания, км <sup>2</sup>	$300 + 40N$
Планируемое число абонентов сети	$25000 + 3000N$
Активность одного абонента в час наибольшей нагрузки, Эрл	$0,022 + 0,001N$
Допустимая вероятность блокировки вызова, %	$0,02 - 0,0005N$

# Исходные данные

Таблица 5.1 – Исходные данные для выбора типа кластера и числа секторов в ячейке ( $N$  - номер варианта)

Допустимая вероятность невыполнения требований по отношению сигнал/помеха, %	Требуемое отношение сигнал/помеха, дБ	Отклонение величины уровня сигнала в месте приема, дБ
$8 + 0,25 N$	9	$4 + 0,6 N$

# Задание

- Рассчитать результирующую вероятность невыполнения требований по отношению к сигнал/шум
- Рассчитать общее число базовых станций
- Число абонентов, обслуживаемых в одной ячейке
- Минимальная полоса частот необходимая для развертывания сети
- Радиус зоны покрытия одной ячейки

# Справка

Таблица 2.2 – Соотношение каналов связи, каналов управления и сигнализации в стандарте GSM

Число каналов:		
связи $N_n$	управления и сигнализации $N_{упр}$	Всего каналов на один сек- тор, $N_s$
1–7	1	8
8–15	1	16
16–22	2	24
23–30	2	32
31–37	3	40

# Расчет энергетического бюджета ЛИНИЙ

Параметр	Линия вниз БС-АС	Линия вверх АС-БС
Частота, МГц	945	900
Мощность передатчика, Вт	10,00 + 0,3 <i>mn</i>	0,50 + 0,01 <i>mn</i>
Потери в фидере антенны, дБ	0,50 + 0,01 <i>mn</i>	0,00
Потери в дуплексном фильтре, дБ	2,50 + 0,02 <i>mn</i>	0,00
Потери в диплексоре, дБ	3,00 + 0,05 <i>mn</i>	0,00
Коэффициент усиления антенны, дБи	10,00 + 0,1 <i>mn</i>	0,00
Чувствительность приемника, дБм	-100,00+ 0,05 <i>mn</i>	-104,00+ 0,05 <i>mn</i>
Потери при проникновении в здание, дБ	7,00+ 0,02 <i>mn</i>	
Потери в теле абонента, дБ	2,50+ 0,01 <i>mn</i>	
Поправка, связанная с требуемым про- центом покрытия местоположений (75% мест), дБ	2,72	
<i>mn</i> – последние две цифры номера зачетной книжки		

# Вопросы

1. Для чего необходимо частотно-территориальное планирование сети
2. Чем обусловлена необходимость повторного использования частот
3. Чем отличается ЧТП для сетей 2G и 3G
4. Критерии выбора размерности кластера
5. Какие исходные данные необходимы для планирования сетей сотовой связи
6. Что такое зона покрытия и как она определяется
7. Какие накладываются ограничения при распределении частотного ресурса
8. Какие дополнительные параметры учитываются при ЧТП
9. Какие негативные явления влияют на распространение радиоволн в сотовых сетях

# Темы докладов

- Типы и основные характеристики антенн, применяемых в системах подвижной связи
- Качество обслуживания QoS.  
Требования.
- Правила выделения частотных ресурсов

Таблица Б.1 – Потери на проникновение и среднеквадратическое отклонение уровня сигнала для некоторых типов зданий

Тип	Потери на проникновение в здание $L_b$ , дБ	Среднеквадратическое отклонение уровня сигнала $\sigma_b$ , дБ
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Пригородные жилые строения;</li> <li>– Помещения с окном на внешней стене квартиры в городской среде;</li> </ul>	7	5
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Внешние помещения в офисных строениях в городской среде;</li> <li>– Внутренние помещения в квартирах в городской среде;</li> </ul>	11	6
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Внутренние помещения в офисных строениях в городской среде;</li> </ul>	15	7

## Отношение несущая/шум $C/N$ в стандарте GSM, дБ

Тип канала	Модуляция	Скорость сверточного кодирования	Отношение $C/N$ , дБ	
			GSM-400, GSM-850, GSM-900	DCS-1800
TCH/FS	GMSK	0,5	9	9
TCH/HS	GMSK	0,49	9	9
CS-1	GMSK	0,5	9	9
CS-2	GMSK	0,67	13	13
CS-3	GMSK	0,75	15	16
CS-4	GMSK	1	24	27
MCS-1	GMSK	0,53	9,5	9,5
MCS-2	GMSK	0,67	12	12
MCS-3	GMSK	0,85	17	18
MCS-4	GMSK	1	22	23
MCS-5	8-PSK	0,37	14,5	15
MCS-6	8-PSK	0,49	17,5	18
MCS-7	8-PSK	0,76	24,5	26,5
MCS-8	8-PSK	0,92	30	24,5
MCS-9	8-PSK	1	35	29

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
55897—  
2013

---

**СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ**

**Зоны обслуживания**

**Методы расчета**

2014