

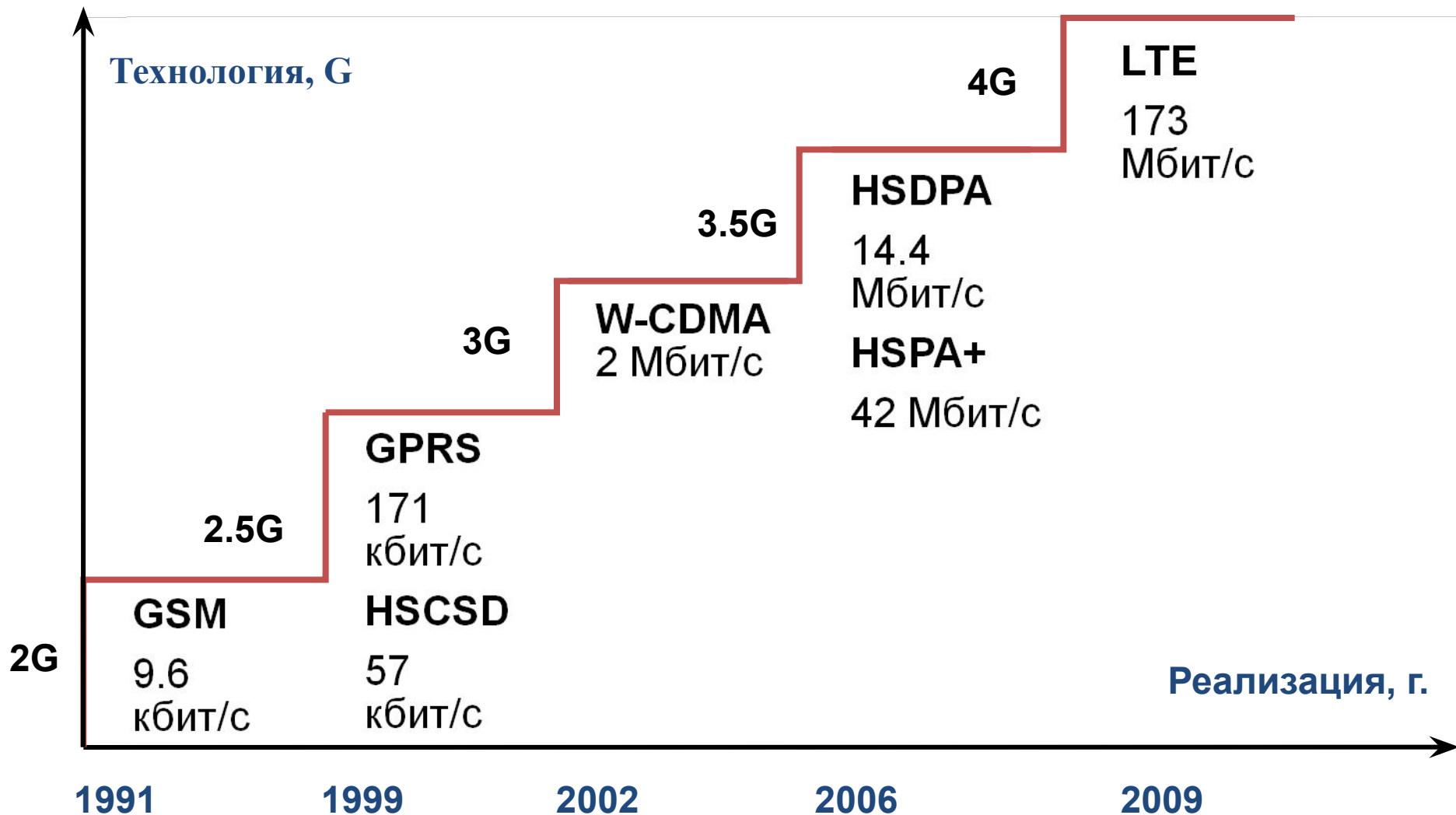
**Общие подходы к задачам
планирования и оптимизации 2G - 4G
сетей подвижной связи**

**доктор технических наук
профессор
Бабков Валерий Юрьевич**

Санкт-Петербург

2011 г.

Системы сотовой связи



Классификация услуг сетей мобильной связи

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

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 (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

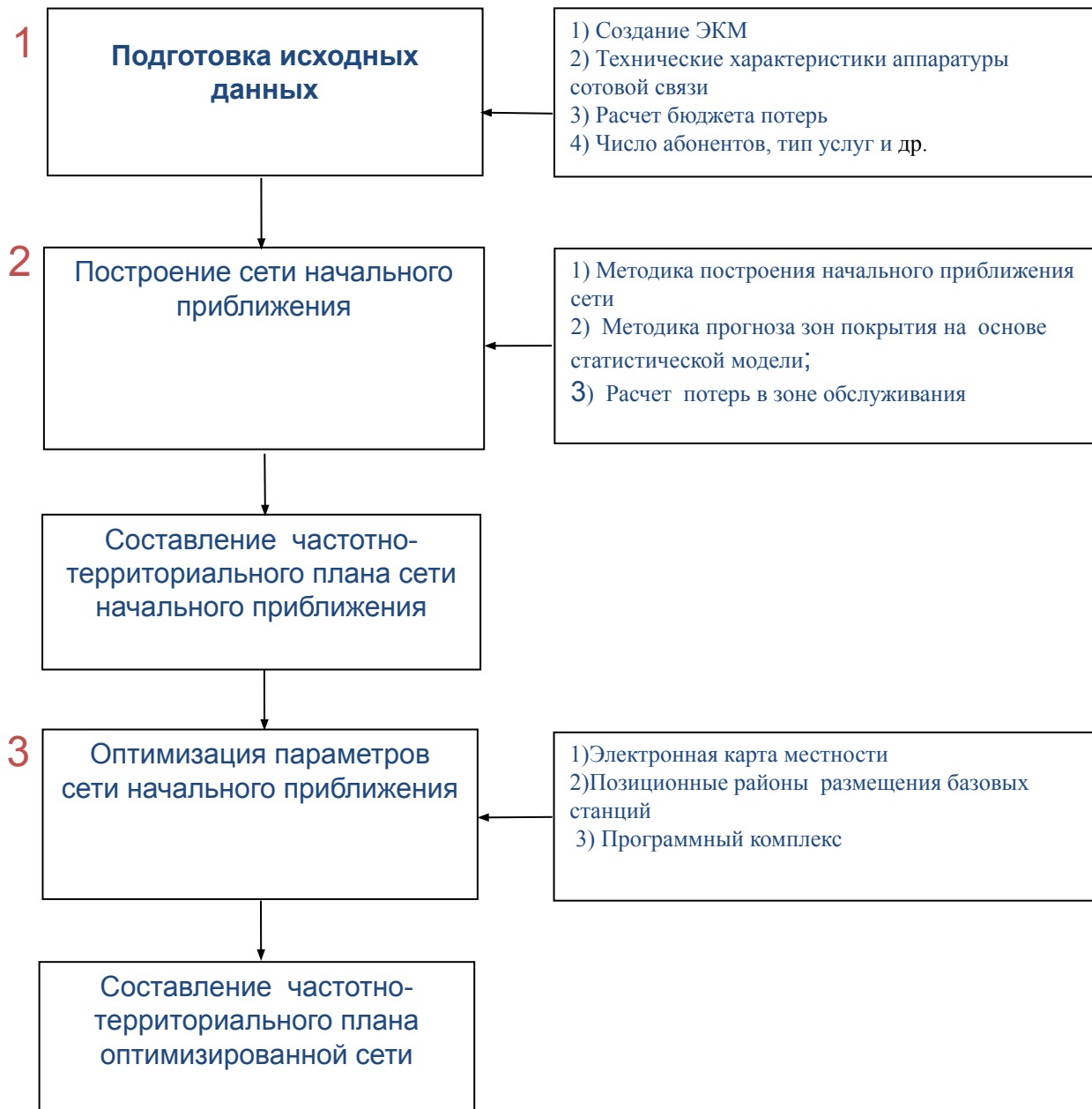
- включает привязку участков развертывания базовых станций к карте местности и итеративную оптимизацию параметров базовой сети с использованием геоинформационной базы данных и специального программного обеспечения, позволяющего произвести расчет напряженности поля сигнала в зоне действия сети.
- Итеративная оптимизация параметров базовой сети начального приближения проводится с целью повышения эффективности сети при 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.

Отличия в планировании сетей GSM, WCDMA и LTE

Стандарт	Этапы планирования
GSM	<ol style="list-style-type: none">1. Выбор типа частотного кластера2. Определение пространственных параметров сети3. Определение параметров базовых станций (исходя из бюджета потерь)4. Составление частотного плана
WCDMA	<ol style="list-style-type: none">1. Определение числа каналов трафика на соту в зависимости от внутрисистемных помех (загрузки сети)2. Определение пространственных параметров сети3. Расчет параметров базовых станций (исходя из того, что сигнал групповой; расчет по пилотному сигналу)4. Распределение кодовых сдвигов по секторам
LTE	<ol style="list-style-type: none">1. Определение пространственных параметров сети2. Частотное планирование3. Оценка пропускной способности при заданном профиле трафика4. Уточнение параметров базовых станций и зоны обслуживания, исходя из трафика

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



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 радиооборудования 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

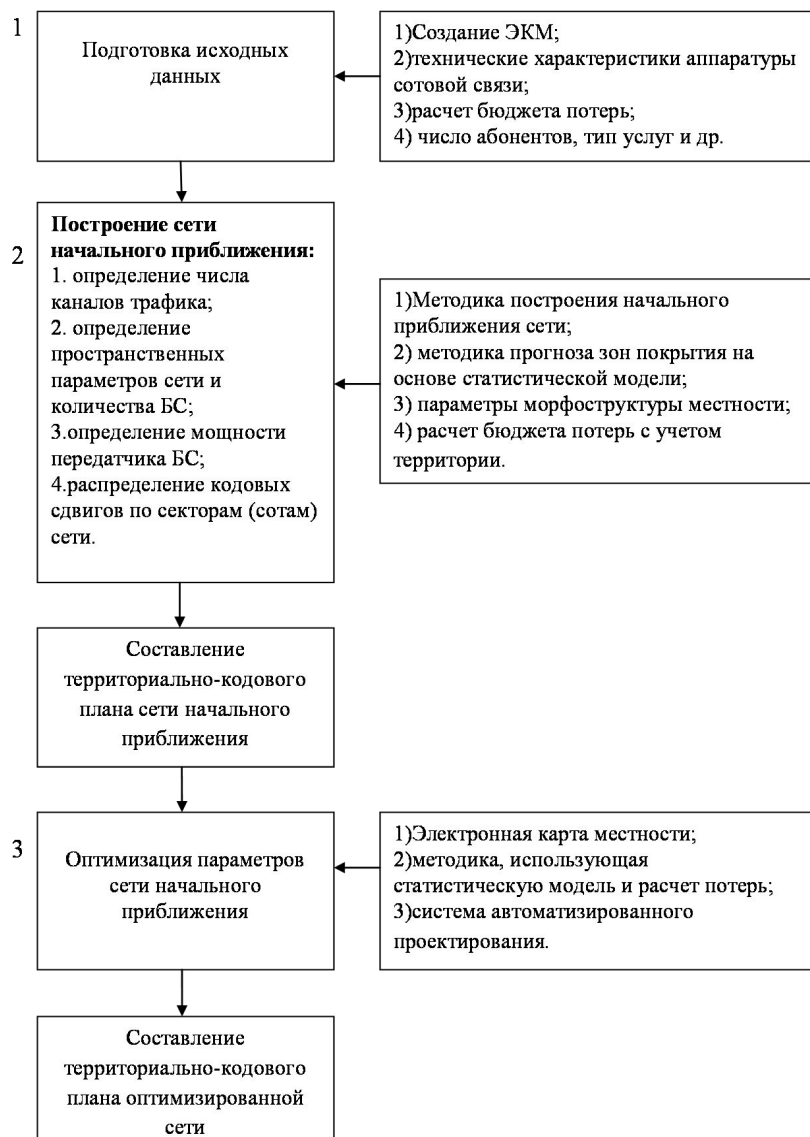
$$P'_{прдБС} = 10^{C/10},$$

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).

Алгоритм территориально-кодowego планирования сети WCDMA



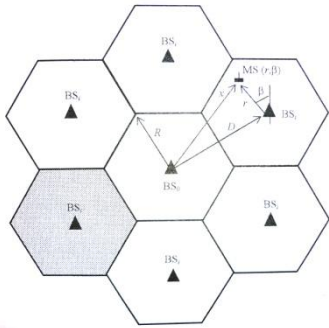
При построении сети начального приближения предполагаются следующие допущения:

- - 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 телефоном 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, β) :

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

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-кодированные 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

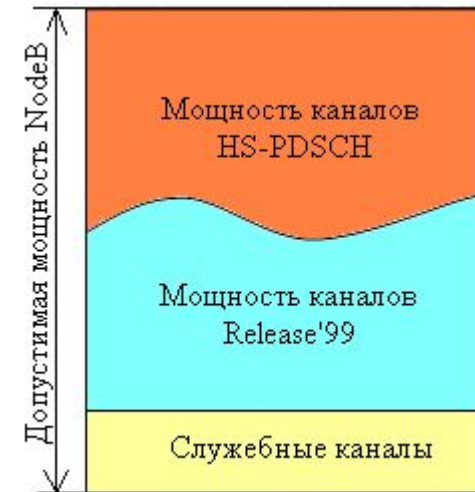
TFRC комбинация модуляции и кодирования совместно с канальным ресурсом	Модуляция	Эффект. скорость кода	Скорость передачи данных (1 код) кбит/с	Скорость передачи данных (5 код) Мбит/с	Скорость передачи данных (15 код) Мбит/с
1	4-ФМ	1/4	119	0,6	1,8
2	4-ФМ	1/2	237	1,2	3,6
3	4-ФМ	3/4	356	1,8	5,3
4	16-КАМ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

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												
						256/384									
256	128	128	PS	128	128	PS		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



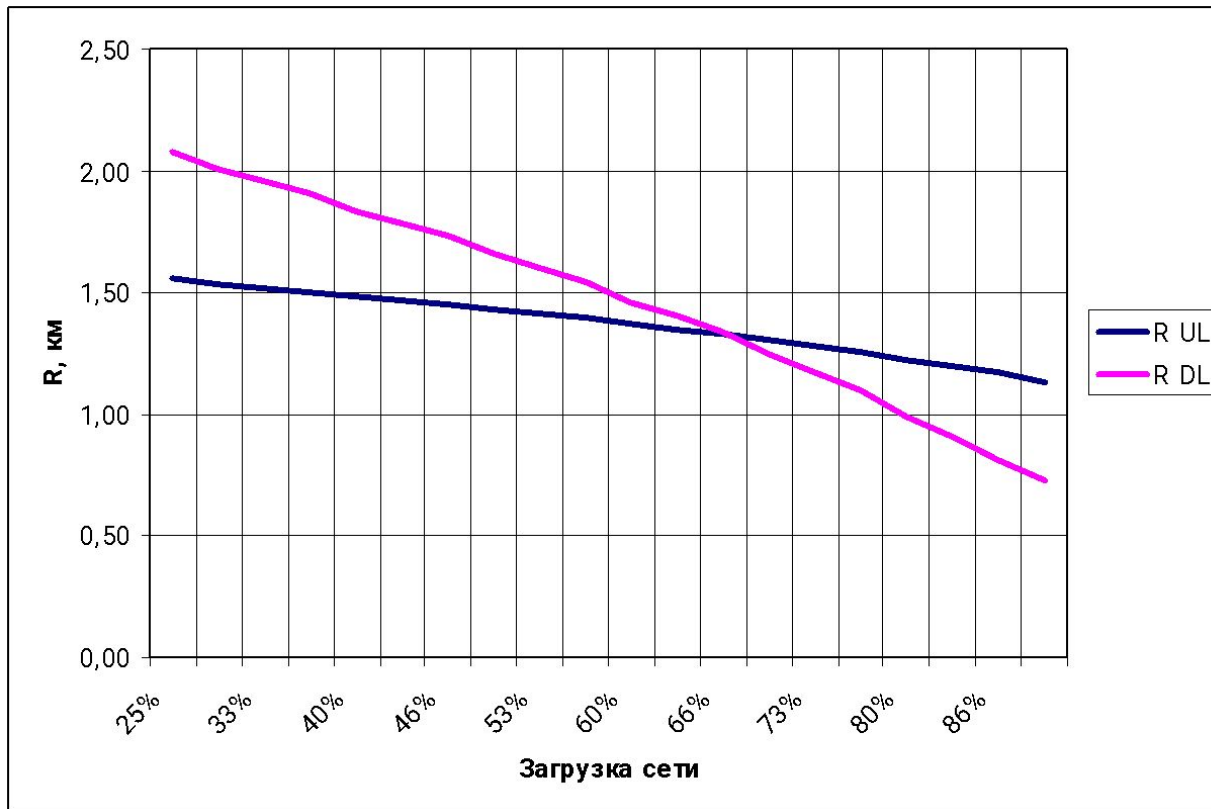
Управление доступом в сетях W-CDMA/HSDPA



Алгоритм планирования сети WCDMA-HSDPA



Зависимость радиуса от загрузки сети



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 ²	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 $N = N_{NodeBHSDPA} - N_{NodeBR'99}$	1	4	20

Характеристики прямого канала при работе в режиме мобильного Интернета

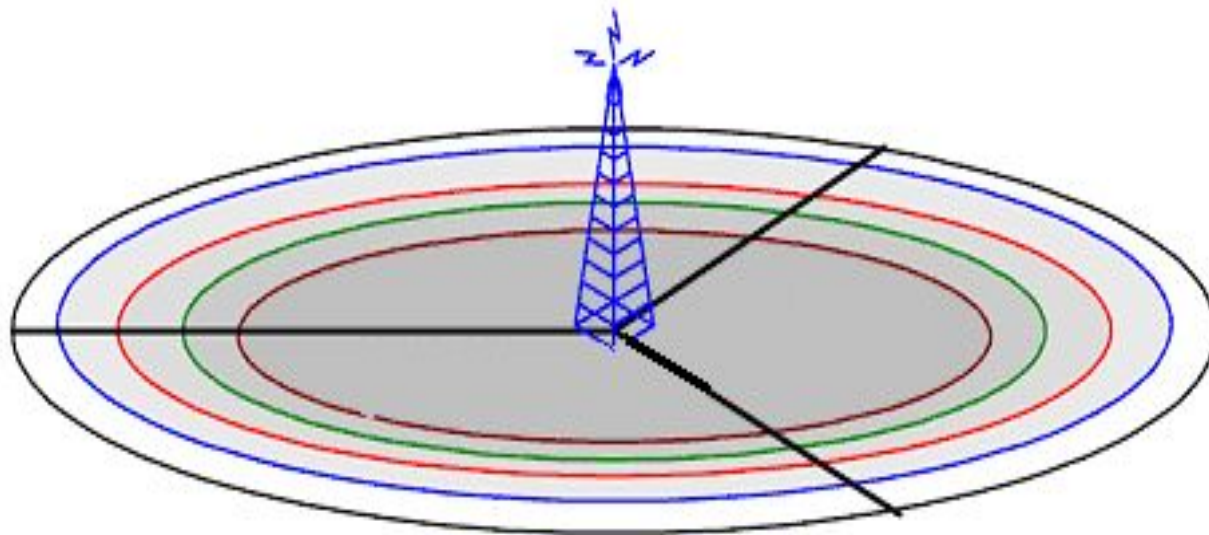
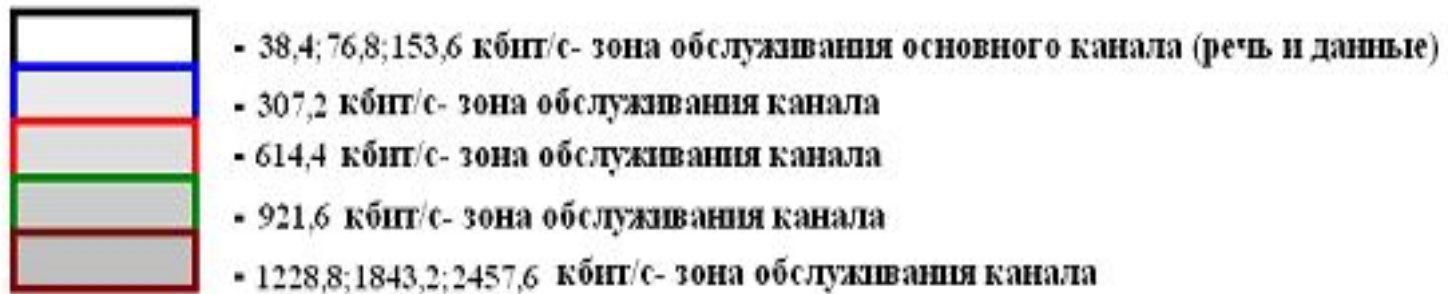
Адаптивные схемы модуляции и кодирования

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

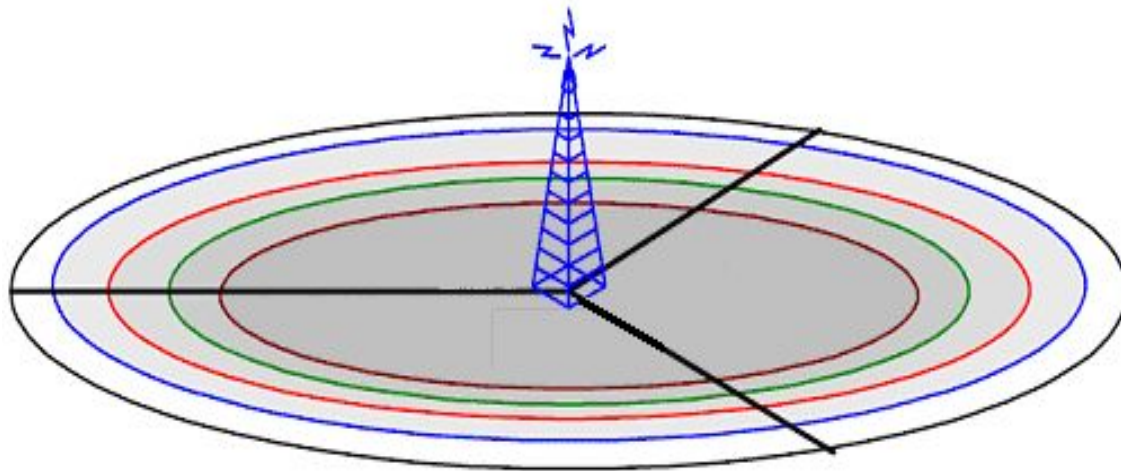
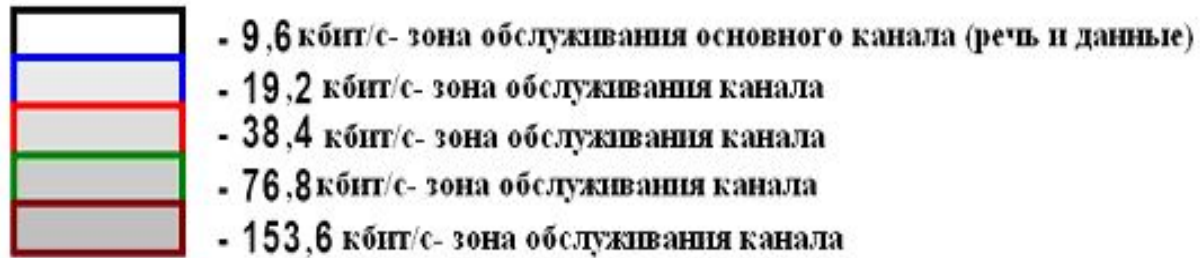
Требуемое отношение сигнал/помеха в прямом канале

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; 76,8; 153,6	307,2	614,4	921,6	1228,8; 1843,2; 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; 76,8; 153,6	307,2	614,4	921,6	1228,8; 1843,2; 2457,6					
	$N_{аб123}$	$N_{аб4}$	$N_{аб5}$	$N_{аб6}$	$N_{аб789}$	V_{Σ}	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_{Σ} – 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

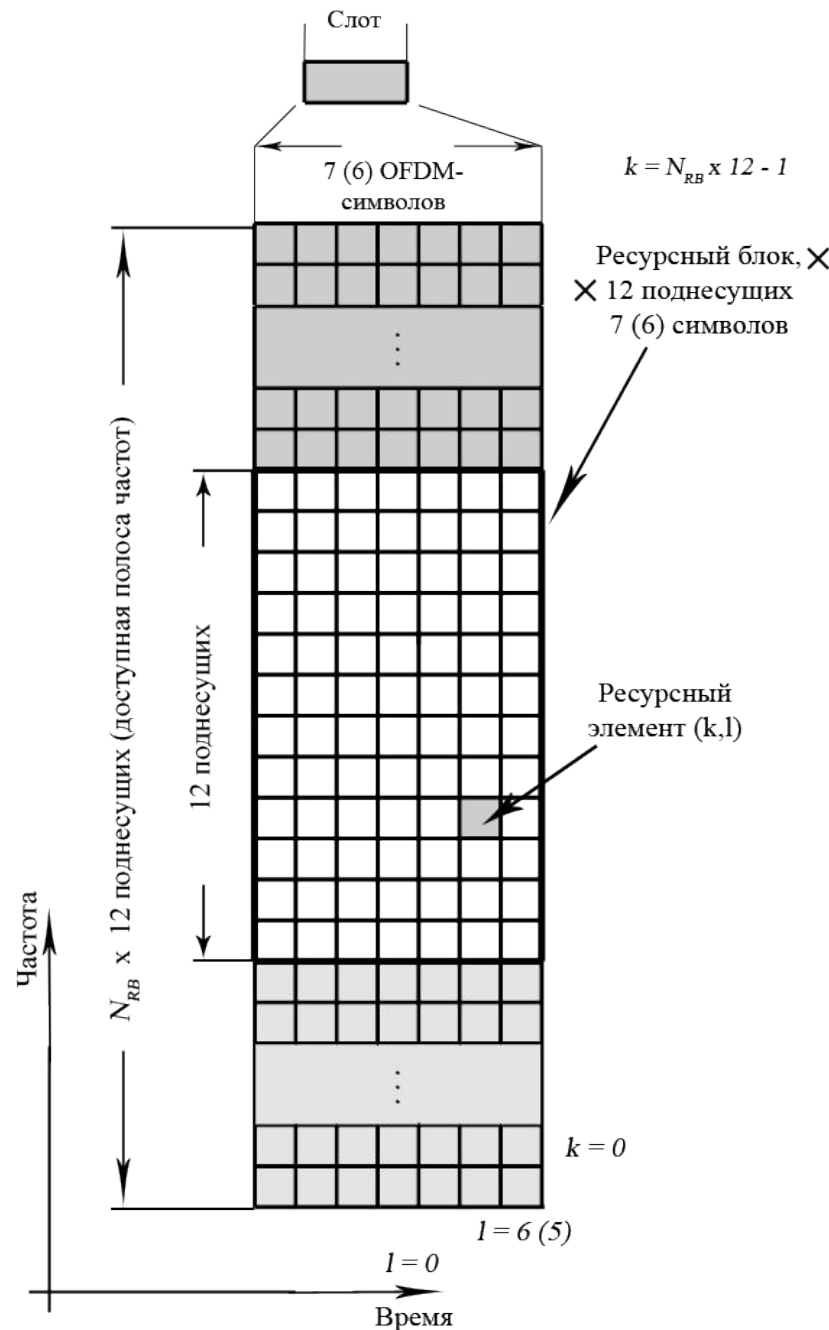
Основные технические характеристики стандарта LTE

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, 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

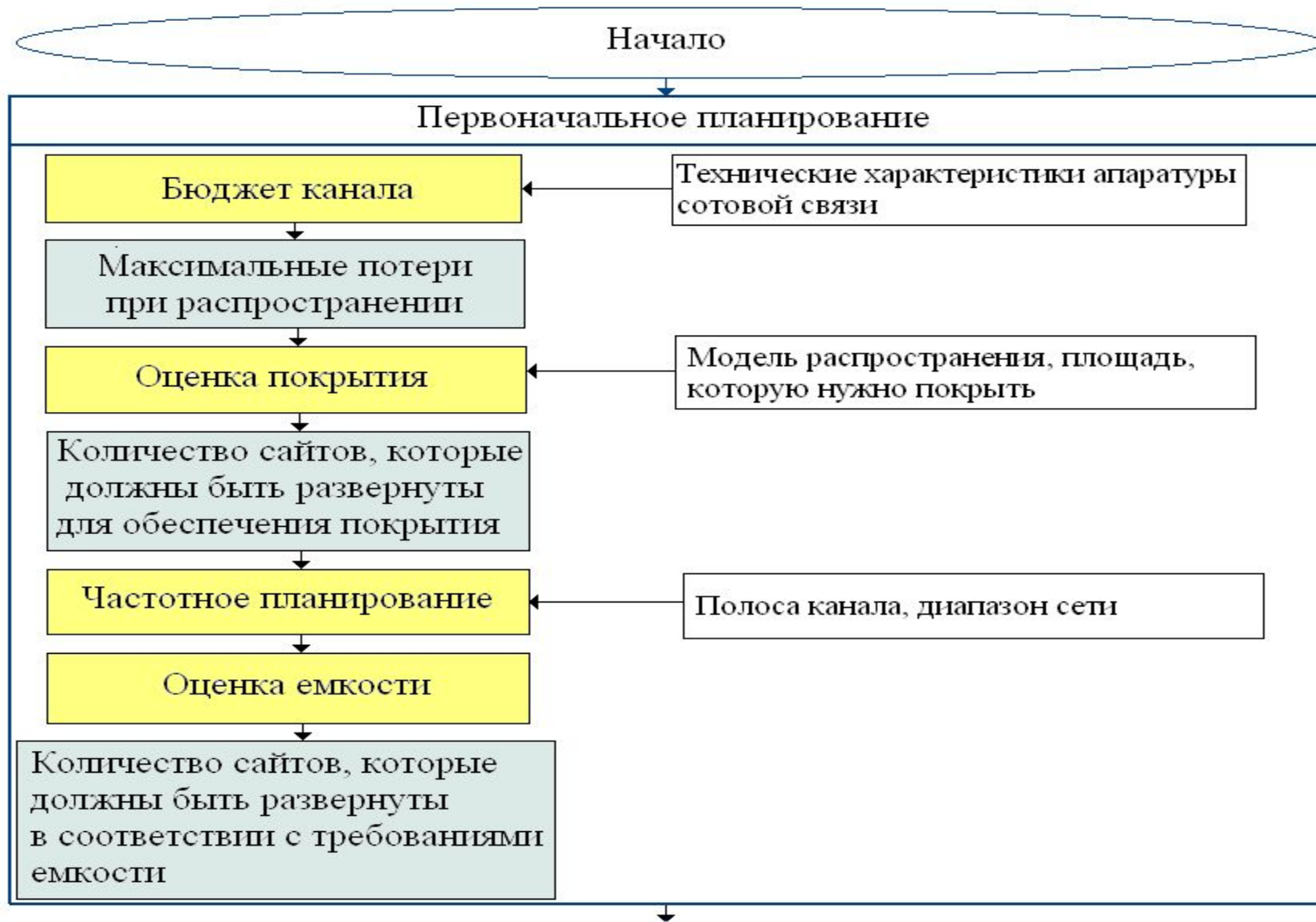
Требуемое разнесение по частоте стандартов LTE и GSM, работающих в общей полосе частот.

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

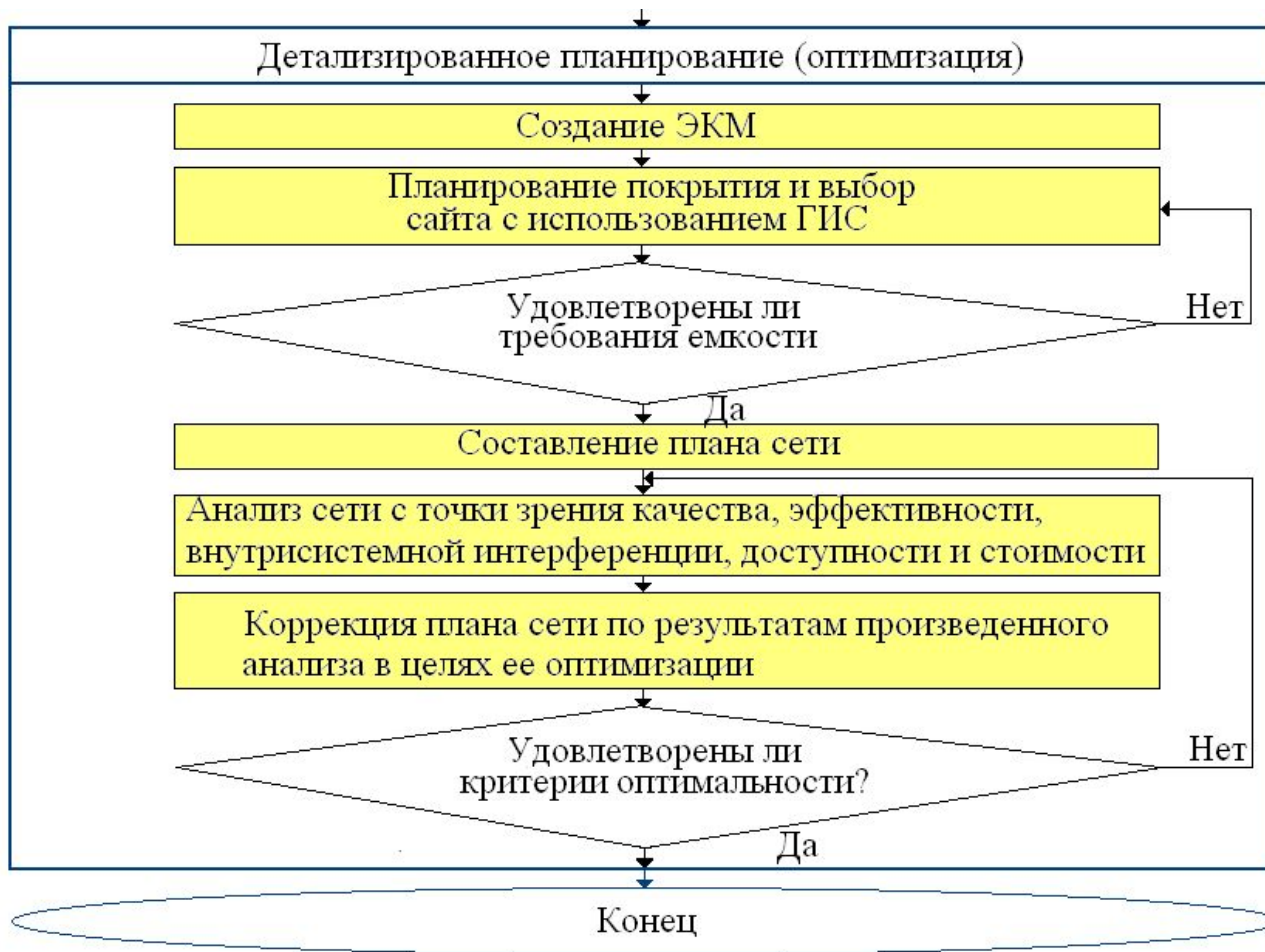
Ресурсная сетка LTE при стандартном шаге поднесущих $\Delta f = 15$ кГц



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

Δf 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)

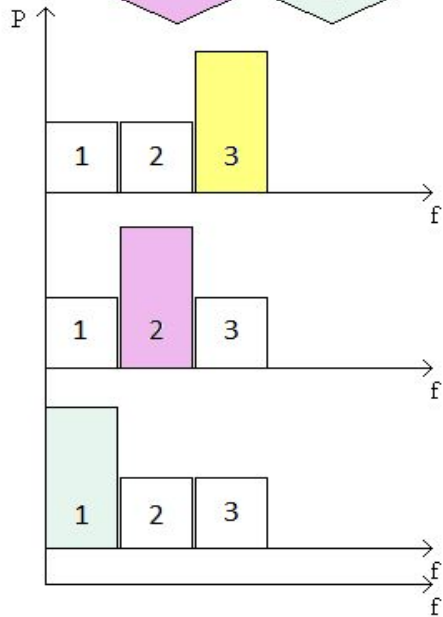
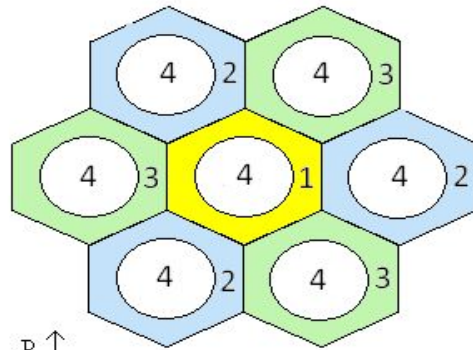
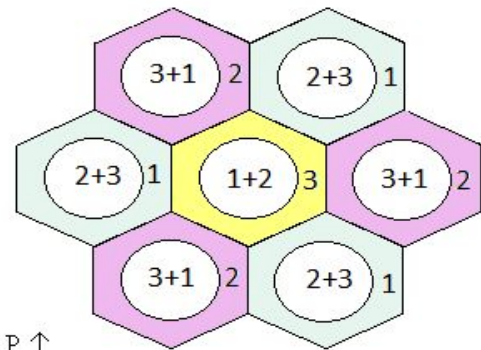
Оценка бюджета потерь показывает, что сети GSM и LTE, которые развертываются в одном диапазоне, имеют близкие показатели допустимых потерь на трассе прохождения радиосигнала.

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

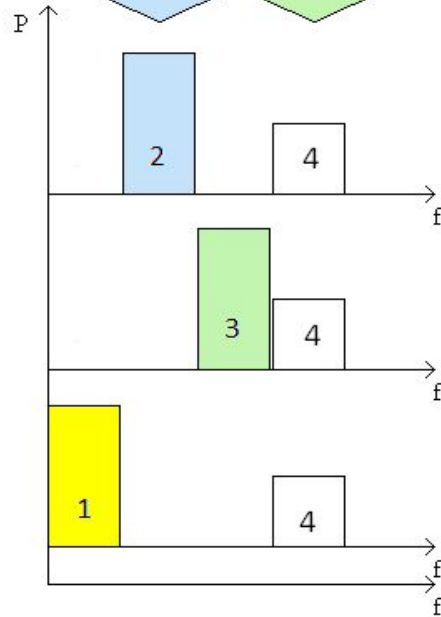
«Гибкая» полоса LTE дает возможность производить реформирование спектра довольно просто, так как полоса начинается с 1.4 МГц или 3 МГц, а затем она может увеличиваться, при постепенном развитии сети LTE, и, соответственно, уменьшении трафика сети GSM на которую LTE накладывается.

Частотное планирование сети LTE

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.

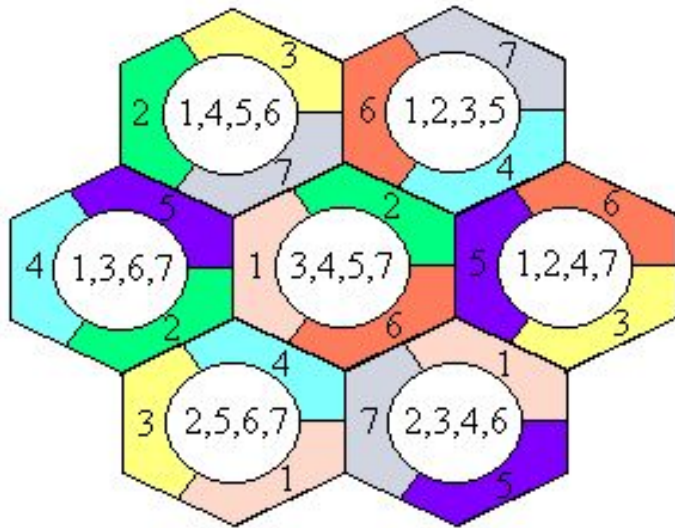


а) Мягкое повторное использование частот с тремя поднесущими



б) Дробное повторное использование частот с четырьмя поднесущими

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, η – 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.

Спасибо за внимание!