

*Подходы к планированию 3G и 4G сетей  
подвижной связи с учетом требований к  
качеству услуг*

*доктор технических наук  
профессор*

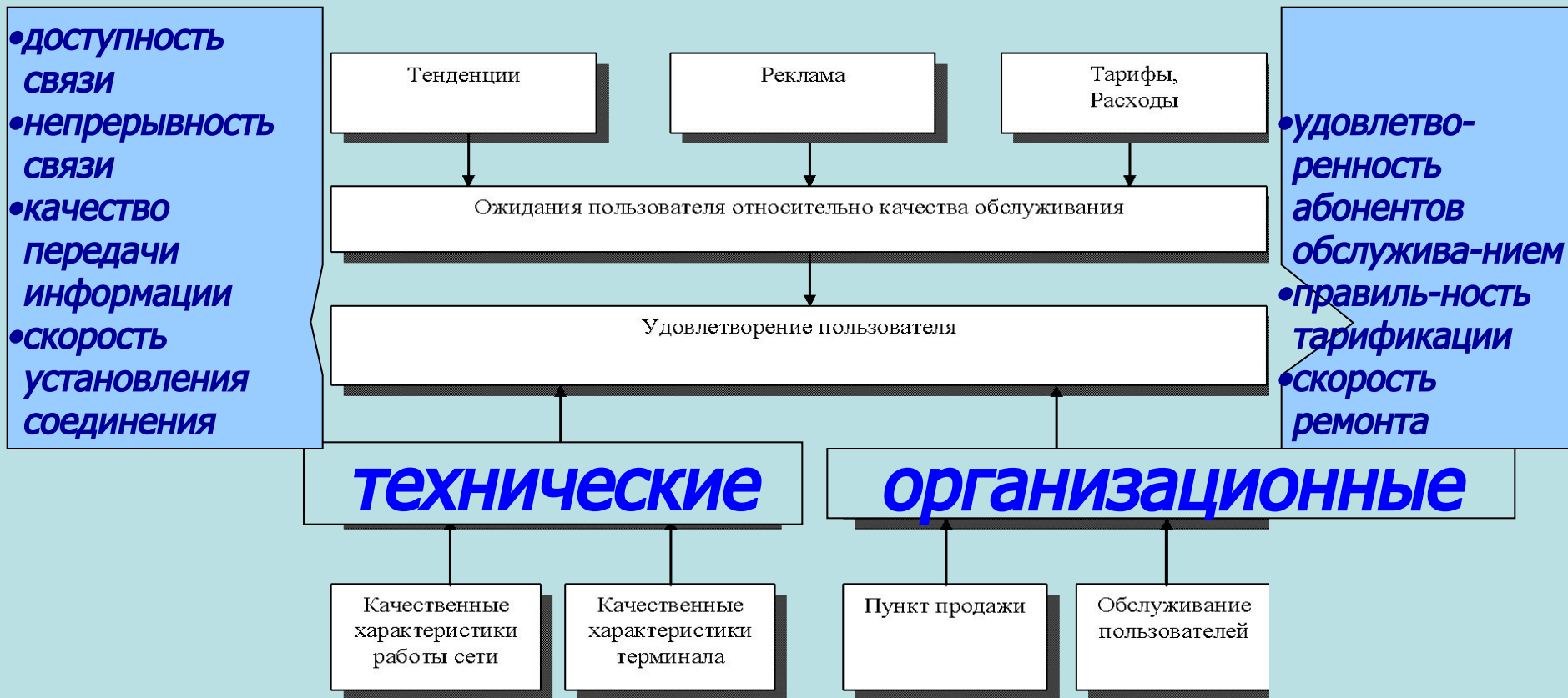
*Бабков Валерий Юрьевич*

# 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:



# 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*

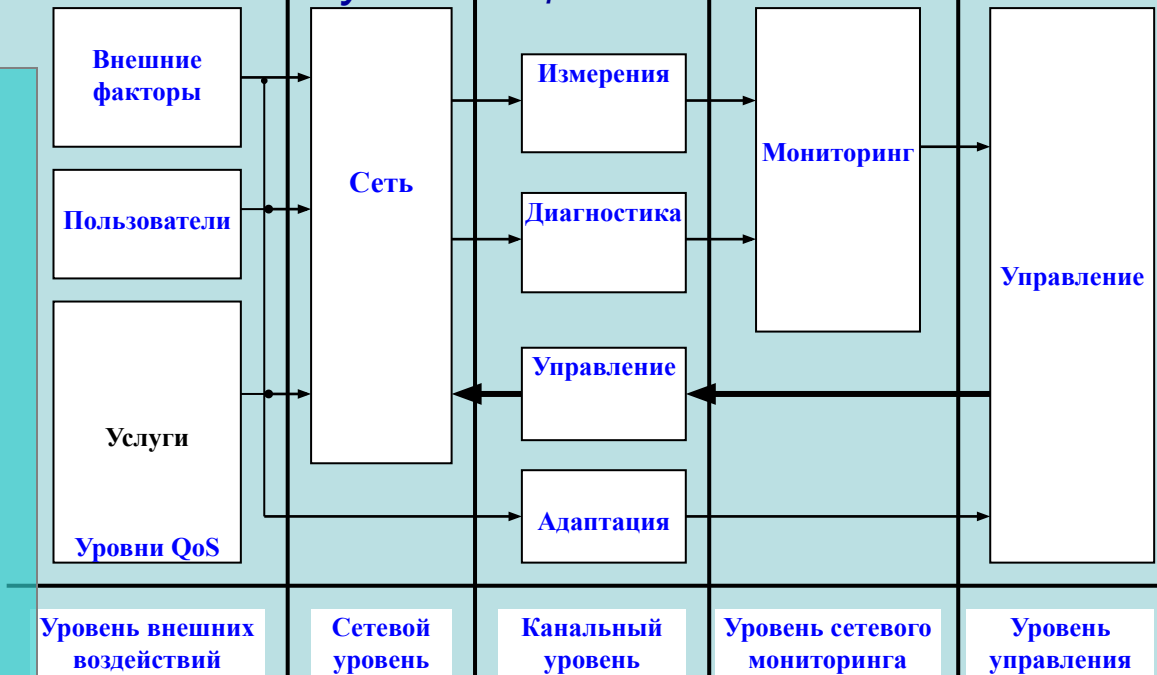
# Процессы управления

*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).



# Методы оценки передачи голоса и данных

## Методы оценки голоса:

- объективной и субъективной
- субъективно-статистической
- измерение качества восприятия речи (PSQM)
- «Е-модель»

принцип «Е-модели». уравнение:

**R** - рейтинг качества передачи речи (transmission ratings)

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A,$$

$R_0$  – отношение сигнал/шум

$I_s$  – степень ухудшения тракта (перегрузки, шумом квантования и др.)

$I_d$  - ухудшение тракта (задержка распространения радиосигнала)

$I_e$  – снижение качества передачи (включенные в тракт устройствами обработки речи)

$A$  – коэффициент ожидания, подсознательно определяемый эмоциональным настроем пользователя

## Методы оценки для сетей с коммутацией каналов:

- доступность услуги
- время установления соединения
- относительное число выполненных вызовов

## методы оценки для сетей с коммутацией пакетов:

определяются требованиями к классам трафика

режимы предоставления

- гарантированный (AM - assured mode)

- негарантированный (NAM - non-assured mode)

## основные уровни/типы QoS для IP сетей :

«лучшее из возможного» (best effort) - передача данных без каких либо гарантий

с предпочтениями /приоритетами (non-guarantee) в зависимости от типа трафика

гарантированный сервис (guarantee)



# Мониторинг как средство управления качеством услуг

*Под мониторингом понимается процесс сбора информации о состоянии контролируемых объектов, а также анализа и обработки получаемой информации в интересах различных управляющих систем и персонала, обслуживающего сеть и принимающего решения.*

Система мониторинга – это информационная система, ориентированная на реализацию процесса сбора, аналитическую обработку и представление информации в удобном для восприятия виде.

# Концептуальная модель системы мониторинга



# Методика мониторинга

## система мониторинга –

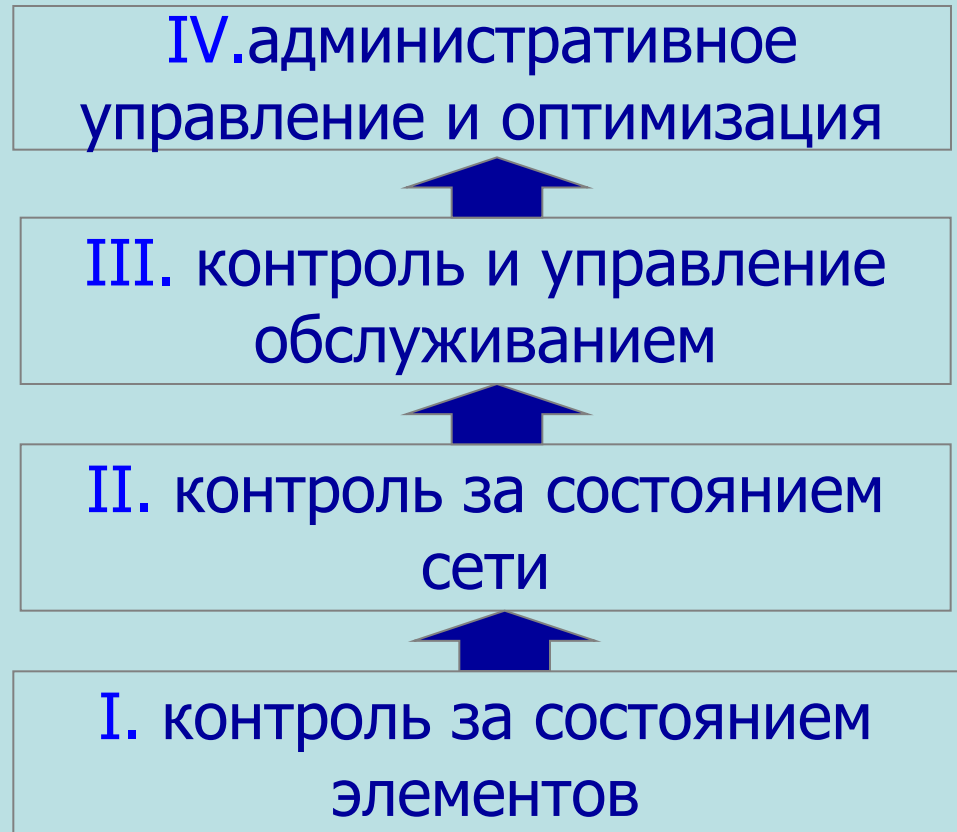
информационная система для сбора, аналитической обработки и представление информации в удобном для восприятия виде

### архитектура:

- центральный сервер
- удаленные модули тестирования

### основные функции:

- автоматический контроль состояния сети в реальном режиме времени
- анализ протоколов
- трассировка вызовов
- статистика
- выявление мошенничества
- роуминг-статистика;
- анализ ключевых показателей производительности сетей



# *Функции мониторинга по содействию оператору*

- поиск неисправностей в сети;
- контроль функционирования сети;
- оптимизация сети;
- ввод в действие новых компонентов сети, новых продуктов и услуг;
- гарантия качества предоставляемых услуг;
- сокращение времени выхода на рынок новых услуг;
- сокращение оттока абонентов;
- наблюдение за абонентской базой;
- работа по устранению жалоб абонентов;
- обнаружение мошенничества;
- оценка качества межоператорского взаимодействия.

# Мониторинг качества сети

На примере сети «Скай Линк» CDMA2000 1X EV-DO

Проблемы развития:

1. становление в условиях серьезной конкуренции
2. необходимость быстрого развития сети, опережающего темпы роста абонентской базы

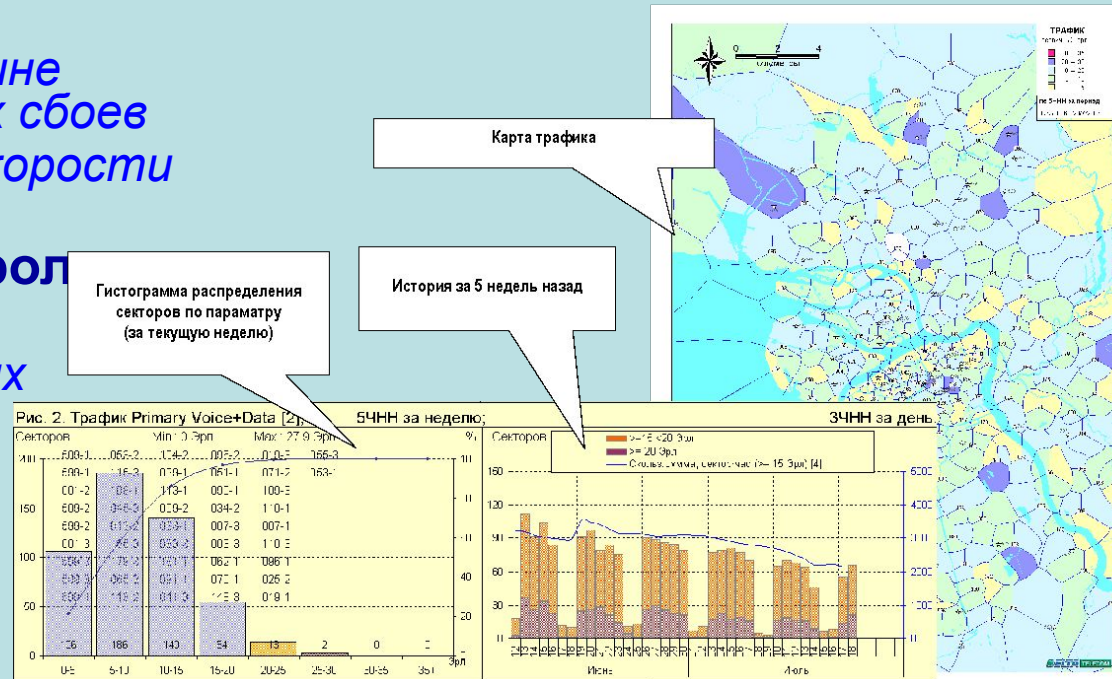
мониторинг основных технических показателей:

- нагрузка общая и первичная (голос и ПД)
- количество соединений: всего и успешных (голос и ПД)
- неуспешные соединения: по вине р/интерфейса или системных сбоев
- объемы трафика и средние скорости ПД «вверх» и «вниз» и т.д.

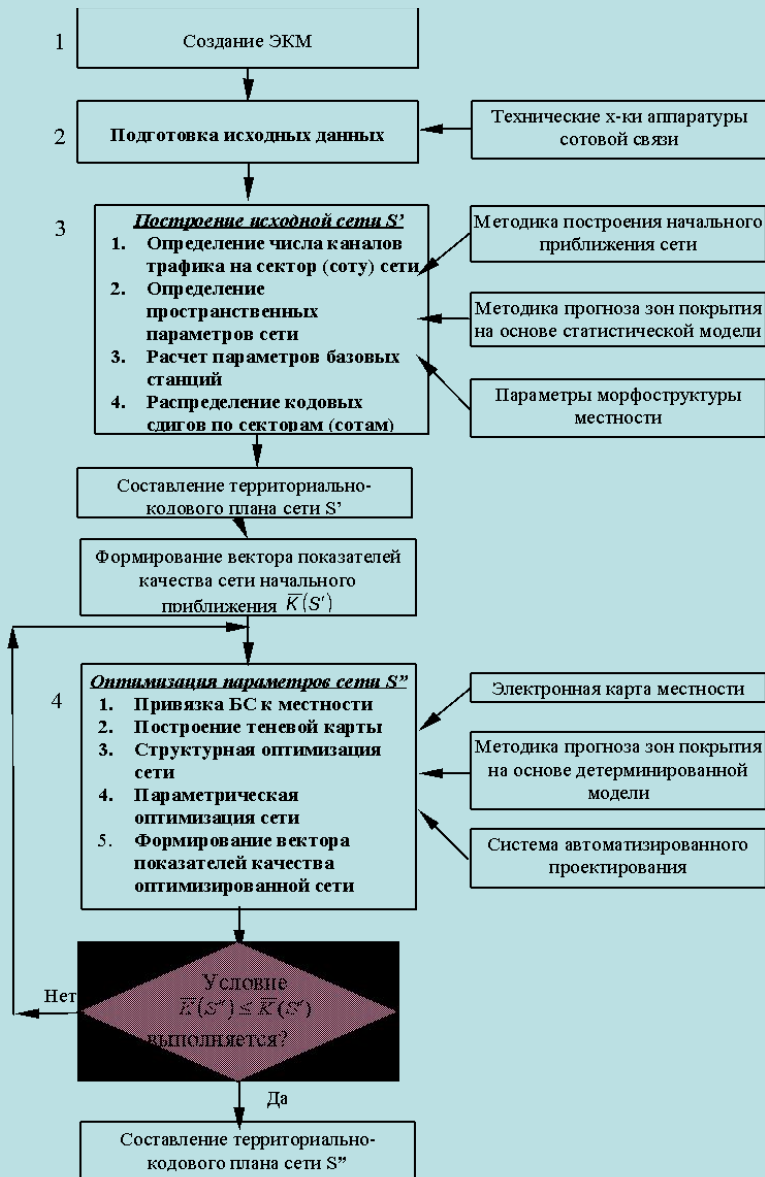
Анализ качества работы сети осуществляется в реальном времени на основе исходных данных и включает в себя статистическую обработку и генерацию отчетов

исходные данные для контроля качества сети:

- мониторинг и анализ основных параметров качества сети;
- драйв – тесты
- анализ жалоб абонентов
- исследование работы абонентского оборудования



# Алгоритм частотно-территориального планирования

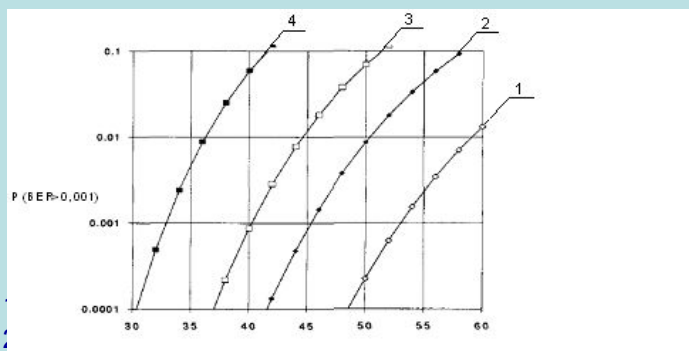


При построении сети делаем следующие допущения:

1. Плотность абонентского трафика по территории обслуживания постоянна
2. Соты одинаковых размеров
3. Активность абонентов постоянна от одной соты к другой
4. Обеспечивается быстрое управление мощностью передатчиков, как в обратном, так и в прямом направлениях СВЯЗИ
5. Морфоструктура местности однотипна
6. Параметры приемопередающих станций одинаковы

# Построение начального приближения сети

Этап 1. Определение числа каналов трафика на сектор из эмпирической зависимости числа обратных каналов трафика от вероятности битовой ошибки различных вариантах загрузки сети.



3-система загружена на 0.5

4- система загружена полностью

По данной зависимости оценивается допустимое число каналов трафика на сектор.

Этап 2. Определение пространственных параметров сети.

$N_{a.БС} = M \cdot \text{int} \left( \frac{A_c}{A_{сп.}} \right)$  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

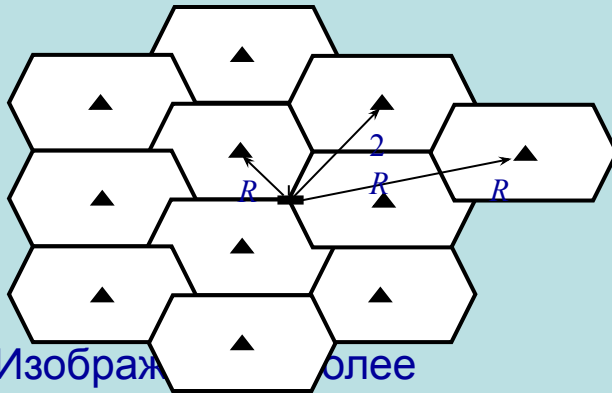
$R_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi \cdot K}}$  – радиус соты, исходя из

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).

## Этап 3. Определение параметров базовых станций

Решение задачи сводится к определению мощности передатчика BS при заданных параметрах радиооборудования. Необходимо оценить соотношение сигнал/помеха на входе приемника сети, опираясь на модель сети:



Изображение более неблагоприятный с точки зрения приема случай, когда мобильный абонент находится на границе трех сот. При найденном значении соотношения с/п на вх. Приемника MS, можно найти мощность передатчика BS.

### Методика определения максимальной мощности передатчика BS.

1. По требуемой вероятности связи с достоверностью не хуже заданной  $F_{don}(\zeta)$  определяются допустимые значения параметра  $\zeta$  по формуле:

$$\zeta = \frac{\bar{z} - z_{don}}{\sigma_z}$$

2. Рассеяния превышение уровня сигнала над уровнем помех

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2}$$

3. Требуемое среднее превышение уровня сигнала над уровнем помех на входе приемника MS по формуле:

$$\bar{\partial}B_{mp}[z] = \zeta_{don} \partial B_z[z] + \partial B_{don}[z]$$

4. Средний уровень сигнала на входе приемника для обеспечения заданной вероятности связи:

$$\bar{\partial}B_{mp}[z] = \partial B_{mp}[x] \oplus B[z]$$

5. Находим выходную мощность приемника BS, в нашем случае она равна мощности пилотного сигнала BS
6. Суммарная мощность передатчика BS находится по формуле:

$$P_{TX\Sigma}^{BS} = 6.7 \cdot P_{TX\Pi\Sigma}^{BS}$$



## *Адаптивные схемы модуляции и кодирования в высокоскоростном нисходящем канале HSDPA*

TFRC	Модуляция	Эффект. скорость кода	Скорость данных (1 код) кбит/с	Скорость данных (5 код) Мбит/с	Скорость 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

## ***Высокоскоростной сегмент WCDMA HSDPA***

базируется на высокоскоростном общем нисходящем канале (*High-Speed Downlink Shared Channel - HS-DSCH*), способном поддерживать высокие скорости передачи данных.

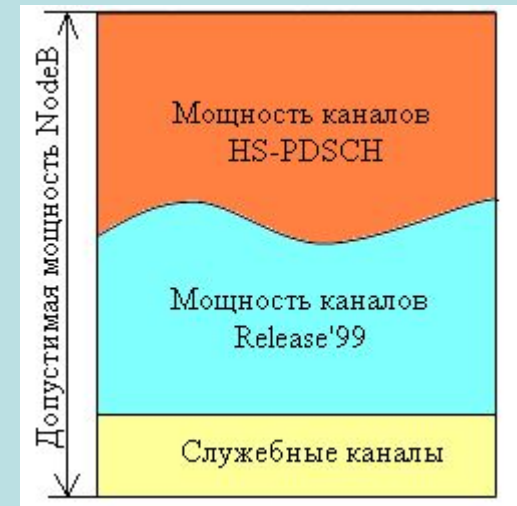
- Технология позволяет обслуживать разных пользователей, осуществляя мультиплексирование с временным и кодовым разделением, то есть идеально подходит для обработки прерывистого пакетного трафика в многопользовательской среде.
- HSDPA можно передавать в три раза больше данных и поддерживать вдвое больше мобильных пользователей на одну соту.
- HSDPA значительно улучшает качество предоставляемых абоненту мультимедийных услуг ( за счет высокой скорости передачи задержка становится неощутимой, а объем передаваемой информации увеличивается).

# Распределение ресурсов WCDMA

## 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					
128	128	128	128	128	128			128	128	128					

## Ресурс по мощности



## Количество абонентов при различной загрузке 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

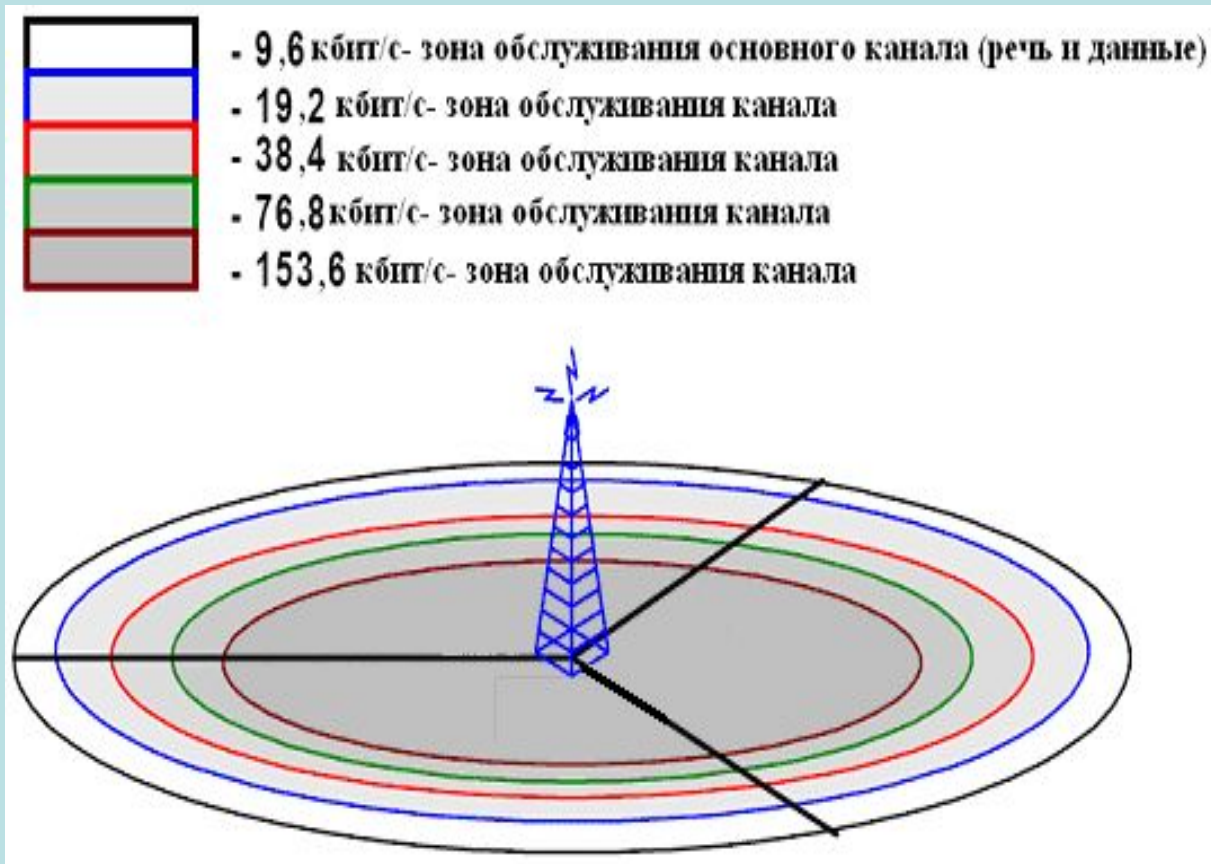
70%

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

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



# Характеристики прямого канала при работе в режиме мобильного Интернета

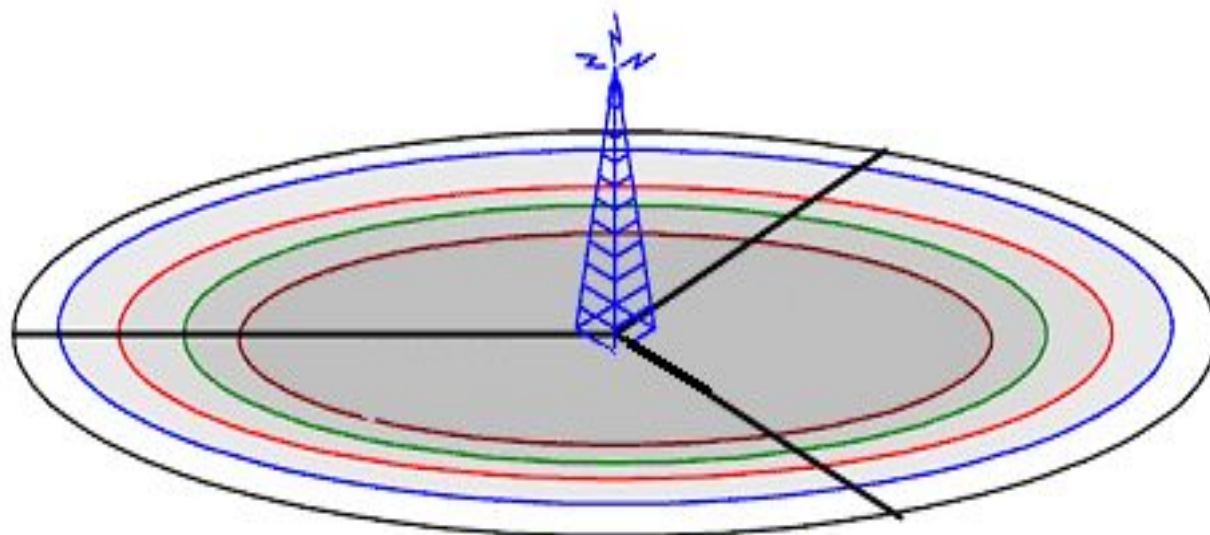
## Адаптивные схемы модуляции и кодирования

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 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%.

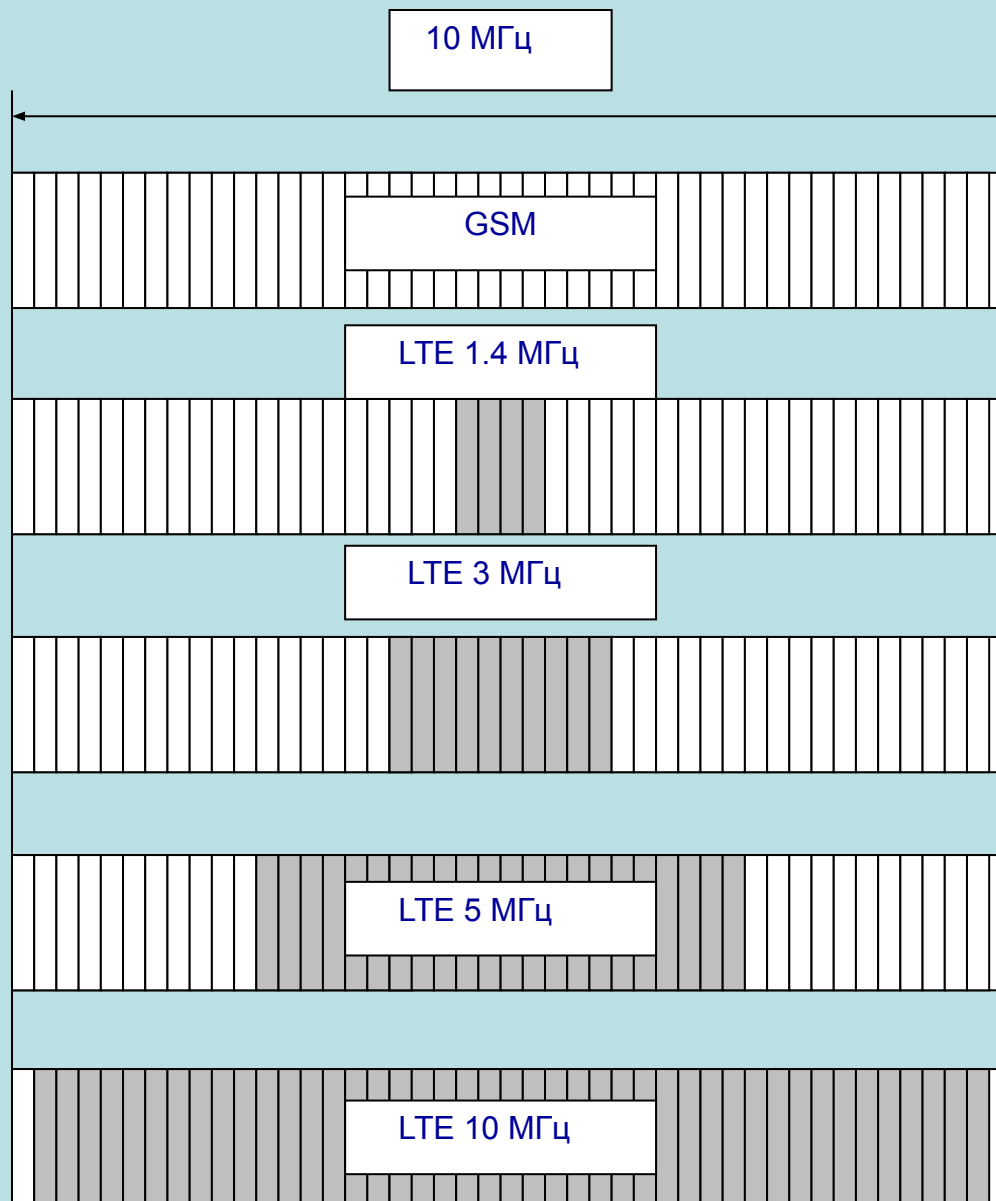


## Пропускная способность сектора

$N_{аб}$	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					
	$N_{аб123}$	$N_{аб4}$	$N_{аб5}$	$N_{аб6}$	$N_{аб789}$	$V_{\Sigma}$	$S$	$T_2$	$Z$	$V_{ср}$
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

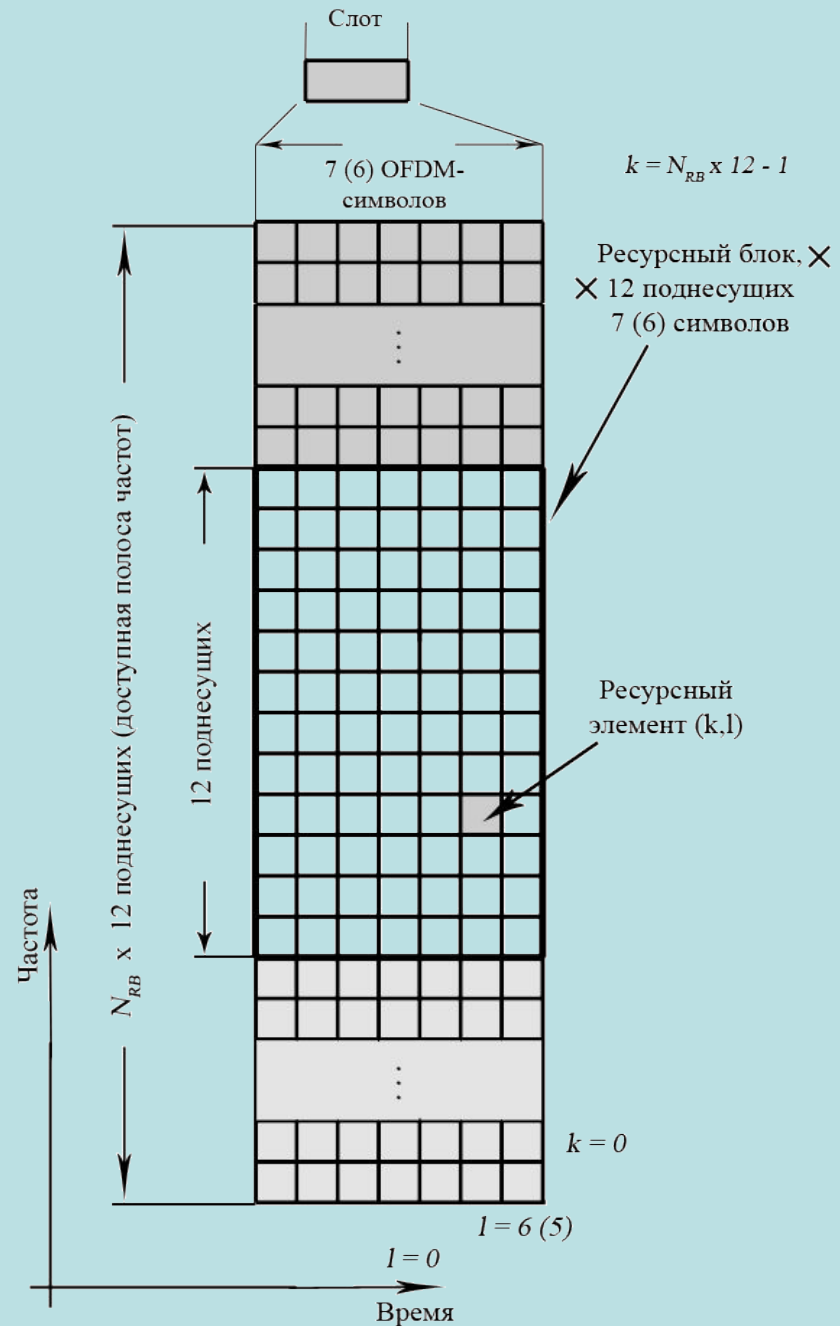
Обозначения:  $N_{аб}$  – число абонентов в секторе в ЧНН,  $N_{abi}$  – число абонентов в сегменте зоны обслуживания со скоростью  $i$ ,  $i$  – номер сегмента зоны обслуживания, которая соответствует определённой скорости передачи данных,  $V_{\Sigma i}$  – требуемая пропускная способность, приходящаяся 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

# Реформирование спектра GSM под спектр LTE



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

### *Зоны покрытия базовых станций на линии «вверх» в сети GSM/LTE*

Тип зоны	Городская				Пригородная	
Стандарт	GSM 900	LTE 900	GSM 1800	LTE 1800	LTE 900	LTE 1800
Радиус зоны покрытия, км	3.6	4.3	1.6	1.9	8.4	2.3

### *Зоны покрытия базовых станций на линии «вниз» в сети GSM/LTE*

Тип зоны	Городская				Пригородная	
Стандарт	GSM 900	LTE 900	GSM 1800	LTE1800	LTE 900	LTE 1800
Радиус зоны покрытия, км	4.4	6.5	1.9	2.8	12.5	3.5

*Скорость передачи данных в канале  
«вверх» (Мбит/с)*

Модуляция, тип кодирования	Полоса частот, МГц					
	1.4	3	5	10	15	20
	Число ресурсных блоков					
	6	15	25	50	75	100
QPSK, 1/2	0.9	2.2	3.6	7.2	10.8	14.4
16QAM, 1/2	1.7	4.3	7.2	14.4	21.6	28.8
16QAM, 3/4	2.6	6.5	10.8	21.6	32.4	43.2
16QAM, 1/1	3.5	8.6	14.4	28.8	43.2	57.6
64QAM, 3/4	3.9	9.7	16.2	32.4	48.6	64.8
64QAM, 1/1	5.2	13.0	21.6	43.2	64.8	86.4

*Скорость передачи данных в канале  
«вниз» (Мбит/с)*

Модуляция, тип кодирования	Полоса частот, МГц					
	1.4	3	5	10	15	20
	Число ресурсных блоков					
	6	15	25	50	75	100
QPSK, 1/2	0.8	2.2	3.7	7.4	11.2	14.9
16QAM, 1/2	1.5	4.4	7.4	14.9	22.4	29.9
16QAM, 3/4	2.3	6.6	11.1	22.3	33.6	44.8
64QAM, 3/4	3.5	9.9	16.6	33.5	50.4	67.2
64QAM, 3/4	4.6	13.2	22.2	44.7	67.2	89.7
64QAM, 1/1	6.6	18.9	31.9	64.3	96.7	129.1
64QAM, 1/1	8.8	25.3	42.5	85.7	128.9	172.1
64QAM, 1/1	16.6	47.7	80.3	161.9	243.5	325.1

*Параметры канала  
передачи между БС  
и АУ*

Ширина канала, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число ресурсных блоков	6	15	25	50	75	100
Число поднесущих	72	180	300	600	900	1200
Число номинальных несущих для БПФ	128	256	512	1024	1536	2048
Тактовая частота для БПФ, МГц	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72

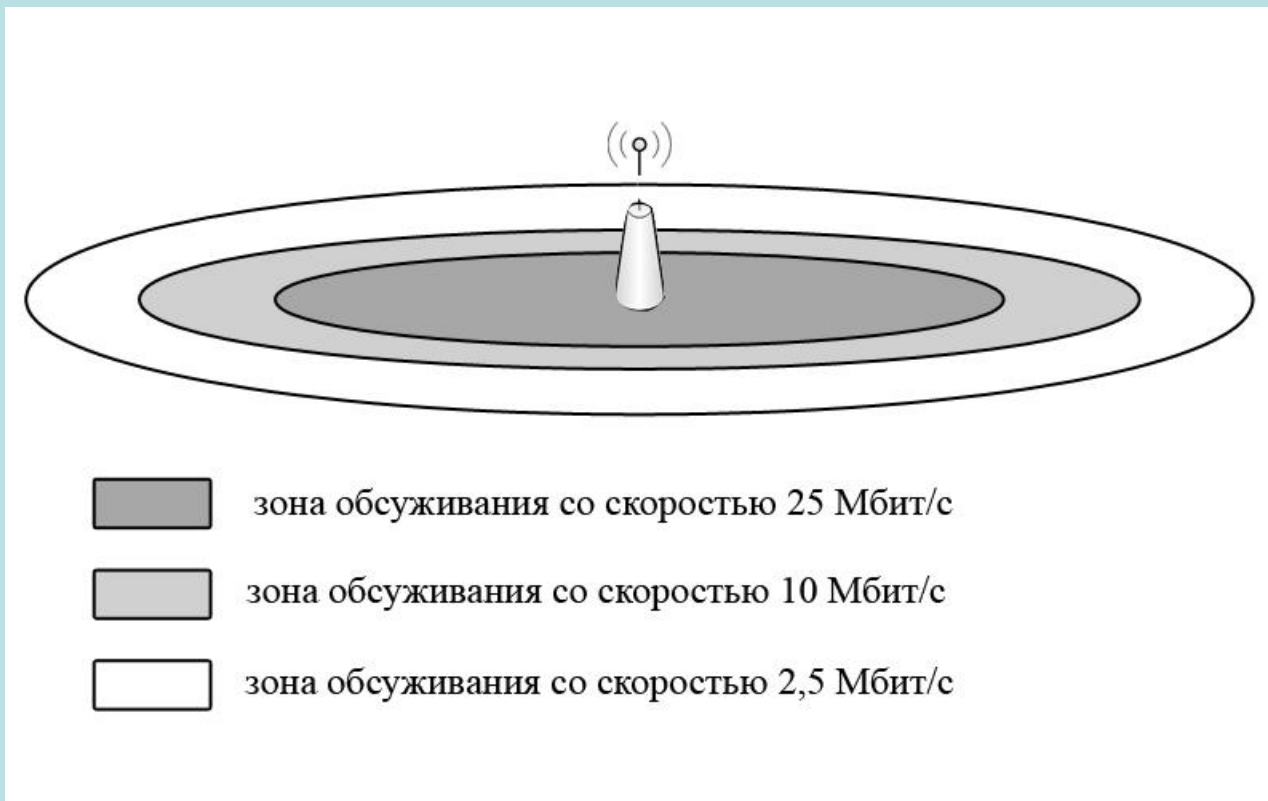
*Максимальная  
скорость  
передачи в  
канале «вверх»  
(Мбит/с)*

Ресурсные блоки							
Модуляция и кодирование	Бит/символ	1.4 МГц	3 МГц	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц
		6	15	25	50	75	100
QPSK 1/2	1.0	0.9	2.2	3.6	7.2	10.8	14.4
16QAM 1/2	2.0	1.7	4.3	7.2	14.4	21.6	28.8
16QAM 3/4	3.0	2.6	6.5	10.8	21.6	32.4	43.2
16QAM 1/1	4.0	3.5	8.6	14.4	28.8	43.2	57.6
64QAM 3/4	4.5	3.9	9.7	16.2	32.4	48.6	64.8
64QAM 1/1	6.0	5.2	13.0	21.6	43.2	64.8	86.4

## *Максимальная скорость передачи в канале «вниз» (Мбит/с)*

Ресурсные блоки								
Модуляция и кодирование	Бит/символ	Использование MIMO	1.4	3 МГц	5 МГц	10 МГц	15	20 МГц
			МГц				МГц	
			6	15	25	50	75	100
QPSK 1/2	1.0	-	0.8	2.2	3.7	7.4	11.2	14.9
16QAM 1/2	2.0	-	1.5	4.4	7.4	14.9	22.4	29.9
16QAM 3/4	3.0	-	2.3	6.6	11.1	22.3	33.6	44.8
64QAM 3/4	4.5	-	3.5	9.9	16.6	33.5	50.4	67.2
64QAM 3/4	6.0	-	4.6	13.2	22.2	44.7	67.2	89.7
64QAM 1/1	9.0	2x2 MIMO	6.6	18.9	31.9	64.3	96.7	129.1
64QAM 1/1	12.0	2x2 MIMO	8.8	25.3	42.5	85.7	128.9	172.1
64QAM 1/1	24.0	4x4 MIMO	16.6	47.7	80.3	161.9	243.5	325.1

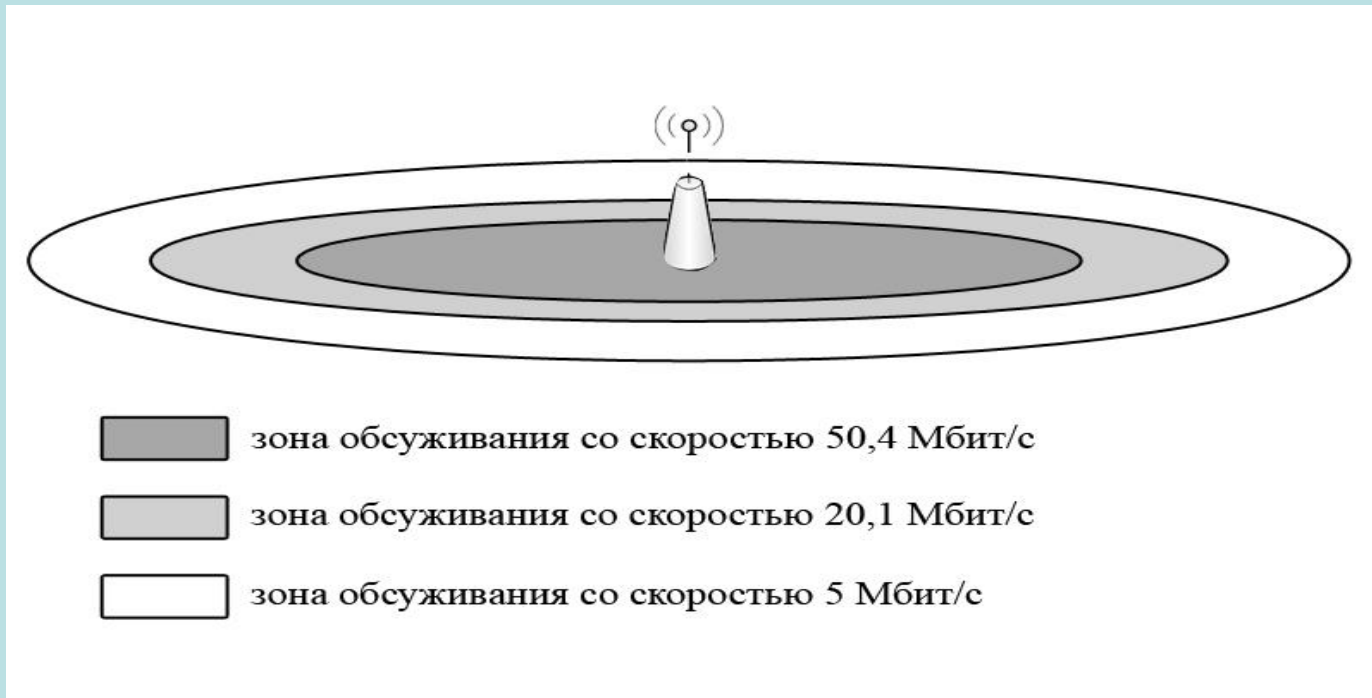
# Распределение скоростей передачи данных в канале «вверх» в зоне обслуживания БС



Модель распространения, радиус зоны покрытия, км	Скорости передачи данных в канале «вверх», Мбит/с		
	2,5	10	25
Большой город, радиус	1,3	1	0,7
Пригород, радиус	1,5	1,1	0,85



# *Распределение скоростей передачи данных в канале «вниз» в зоне обслуживания БС*



Модель распространения, радиус зоны покрытия, км	Скорости передачи данных в канале «вниз», Мбит/с		
	5	20,1	50,4
Большой город, радиус	2,5	1,7	1,2
Пригород, радиус	3,7	2,5	1,8

## *Классификация услуг и требуемая скорость передачи*

Класс услуги	Тип услуги	Скорость передачи, кбит/с
Разговорный	VoIP	4 – 64
	Видео конференции	32 – 384
Потоковый	Музыка/речь	5 – 128
	Видео клипы	20 – 384
	Фильмы в режиме реального времени	> 2000
Интерактивный	Просмотр веб страниц	> 500
	Интерактивные игры	50 – 85
Фоновый	Загрузка фильмов	> 1000
	FTP	> 500
	Электронная почта	> 500

*Максимальное число абонентов одновременно работающих в сети*

Услуга	Максимальное число абонентов	
	Большой город	Пригород
Интерактивные игры	1735	1494
Видео конференция	384	330
Музыка/речь	1152	992
Видео клипы	384	330
Фильмы в режиме реального времени	73	63
Просмотр веб страниц и e-mail	295	254
Загрузка фильмов	147	127
FTP	295	254

*Количество пользователей  
мобильного Интернета в ЧНН*

C	$\delta$	N	$P_{зад}(N, \lambda/\mu)$	$A_{ср}$	$N_{аб}$
Мбит/с	%	Кан.	%	Эрл	Абон.
1,8	25	22	1	12,5	2946
			2	13,3	3134
			5	14,6	3440
	50	19	1	10,2	2404
			2	11	2592
			5	12,2	2875
	100	14	1	6,7	1579
			2	7,3	1720
			5	8,25	1944
7,2	25	12	1	5,4	5040
			2	5,9	5507
			5	6,7	6254
	50	10	1	4	3734
			2	4,5	4200
			5	5,2	4854
	100	8	1	2,8	2614
			2	3,2	2987
			5	3,9	3640
16,2	25	7	1	2,3	4784
			2	2,6	5400
			5	3,15	6552
	50	6	1	1,75	3640
			2	2,05	4204
			5	2,55	5304
	100	5	1	1,25	2600
			2	1,5	3120
			5	1,9	3952