

Оценка параметров зоны обслуживания сети LTE.

Часть 2

Николай Соколов, 26 апреля 2015г.

Часть 2. Оценка параметров зоны обслуживания сети LTE.

1.3. Оценка емкости (количество сайтов, которые должны быть развернуты в соответствии с требованиями емкости).

Емкость, или пропускную способность, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях.

Спектральная эффективность системы мобильной связи представляет собой показатель, вычисляемый как отношение скорости (в бит/с) передаваемых данных на 1 Гц используемой полосы частот (бит/с/Гц). Эта величина характеризует скорость передачи информации в заданной полосе частот. Спектральная эффективность оказывает огромное влияние на эффективность использования частотного ресурса, выделенного сети и качество услуг).

В Табл. 1.3.1 приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макросети.

Схема MIMO 2 x 2 для линии вниз и 1 x 2 – для линии вверх, расстояние между сайтами 500 м.

Таблица 1.3.1 - Средняя спектральная эффективность для сети LTE

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	1x2	0,735
	1x4	1,103
DL	2x2	1,69
	4x2	1,87
	4x4	2,67

Для системы FDD средняя пропускная способность 1 сектора базовой станции может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность канала:

$$R = S \cdot W \quad (1.3.1)$$

где S – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);

W – ширина канала (МГц); $W = 10$ МГц.

Для линии DL («вниз»):

$$R_{DL} = 1,69 \cdot 10 = 16,9 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL («вверх»):

$$R_{UL} = 0,735 \cdot 10 = 7,35 \text{ Мбит/с.}$$

Средняя пропускная способность базовой станции R_{eNB} вычисляется путем умножения пропускной способности одного сектора на количество секторов базовой станции; число секторов eNB равно 3, т.к. базовая станция 3-х секционная, тогда:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot 3 \quad (1.3.2)$$

Для линии DL («вниз»):

$$R_{eNB,DL} = 16,9 \cdot 3 = 50,79 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL («вверх»):

$$R_{eNB,UL} = 11,03 \cdot 3 = 22,05 \text{ Мбит/с.}$$

Следующим этапом будет определение количества сот в планируемой сети LTE.

Для расчета числа сот в сети необходимо определить общее число каналов, выделяемых для развертывания проектируемой сети LTE.

Весь каналный ресурс разбивается на *ресурсные блоки* (РБ, Resource Block, RB). Один блок состоит из 12 расположенных рядом поднесущих, занимающих полосу 180 кГц.

Общее число каналов N_K рассчитывается по формуле:

$$N_K = \left[\frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_K} \right], \quad (1.3.3)$$

где Δf_{Σ} – полоса частот, выделенная для работы сети и равная 95 МГц;

Δf_K – полоса частот одного радиоканала; под радиоканалом в сетях LTE определяется такое понятие как ресурсный блок РБ. Как было сказано выше, он имеет ширину 180 кГц, $\Delta f_K = 180$ кГц.

$$N_K = \frac{95000}{180} \approx 527 \text{ (каналов)}$$

Далее определим число каналов $N_{K,сек}$, которое необходимо использовать для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$N_{K,сек} = \left[\frac{N_K}{L(N_{K,сек})} \right], \quad (1.3.4)$$

где N_K – общее число каналов;

$N_{кл}$ – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов eNB, примем равным 3;

$M_{сек}$ – количество секторов eNB, т.к. базовая станция 3-х секционная .

$$N_{к.сек} = \left\lfloor \frac{527}{(3 \cdot 3)} \right\rfloor \approx 58 \text{ (каналов)}.$$

Далее определим число каналов трафика в одном секторе одной соты $N_{км.сек}$. Число каналов трафика рассчитывается по формуле:

$$N_{км.сек} = N_{км1} \cdot N_{к.сек}, \quad (1.3.5)$$

где $N_{км1}$ – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMA $N_{км1} = 1...3$); для сети LTE выберем $N_{км1} = 1$.

$$N_{км.сек} = 1 \cdot 58 \approx 58 \text{ (каналов)}.$$

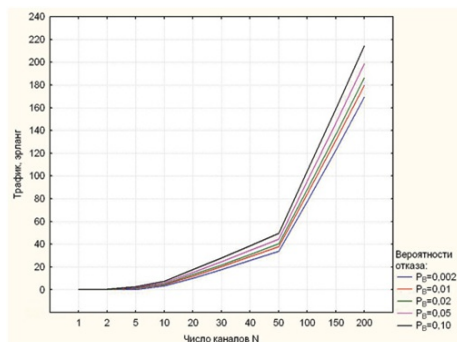


Рисунок 1.3.1 - Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 1.3.1, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{сек}$ при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанном выше значении $N_{км.сек}$. Определяем, что $A_{сек} = 60$ Эрл.

Число абонентов, которое будет обслуживаться одной eNB, определяется по формуле:

$$N_{аб.еNB} = M_{сек} \cdot \left\lfloor \frac{A_{сек}}{A_1} \right\rfloor, \quad (1.3.6)$$

где A_1 – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_1 может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_1 примем равным 0,2 Эрл. Таким образом:

$$N_{аб.еNB} = 3 \cdot \left\lfloor \frac{60}{0,2} \right\rfloor \approx 900 \text{ (абонентов)}.$$

Число базовых станций eNB в проектируемой сети LTE найдем по формуле:

$$N_{еNB} = \left\lceil \frac{N_{аб}}{N_{аб.еNB}} \right\rceil + 1 \quad (1.3.7)$$

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 20% от общего числа жителей городов Пронск и Новомичуринск. Как было сказано выше общее число жителей 23252 человек.

Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 4700 человек, тогда:

$$N_{еNB} = \left\lceil \frac{4700}{900} \right\rceil + 1 \approx 8 \text{ (eNB)}.$$

Среднюю планируемую пропускную способность R_N проектируемой сети определим путем умножения количества eNB на среднюю пропускную способность eNB. Формула примет вид:

$$R_N = (R_{еNB.DL} + R_{еNB.UL}) \cdot N_{еNB}, \quad (1.3.8)$$

$$R_N = (50,79 + 22,05) \cdot 8 \approx 582,96 \text{ (Мбит/с)}.$$

Далее дадим проверочную оценку емкости проектируемой сети и сравним с рассчитанной. Определим усредненный трафик одного абонента в ЧНН (часы наибольшей нагрузки):

$$R_{м.ЧНН} = \frac{T_m}{N_{ЧНН} \cdot N_{д}}, \quad (1.3.9)$$

где T_m – средний трафик одного абонента в месяц, $T_m = 30$ Гбайт/мес;

$N_{ЧНН}$ – число ЧНН в день, $N_{ЧНН} = 7$;

$N_{д}$ – число дней в месяце, $N_{д} = 30$.

$$R_{т.чнн} = \frac{30}{7.30} = 0,14 \text{ (Мбит/с)}$$

Определим общий трафик проектируемой сети в ЧНН $R_{общ./ЧНН}$ по формуле:

$$R_{общ./ЧНН} = R_{т.чнн} \cdot N_{акт.аб}, \quad (1.3.10)$$

где $N_{акт.аб}$ – число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 80% от общего числа потенциальных абонентов $N_{аб}$, то есть $N_{акт.аб} = 4700 \times 80\% = 3760$ абонентов.

$$R_{общ./ЧНН} = 0,14 \cdot 3760 = 526,4 \text{ (Мбит/с)}$$

Таким образом, $R_N > R_{общ./ЧНН}$. Это условие показывает, что проектируемая сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН.

1.4. Частотное планирование (полоса канала, диапазон сети)

Составим частотный план. Планируемая сеть использует диапазон частот для линии «вверх» (UL) 1749,9 – 1784,9 (МГц), для линии «вниз» (DL) 1844,9 – 1879,9 (МГц).

Ширина частотного спектра составляет 95 МГц. Каждому сектору eNB нужно выделить 20 МГц. Таким образом, имеющаяся ширина спектра разделится на 3 части по 20 МГц, плюс защитные частотные полосы для избежания перекрытия сигналов разных секторов. Присвоим каждой из трех частей спектра условный номер и результаты составления частотного плана сведем в таблицу 1.4.1.

Таблица 1.4.1. - Частотный план сети LTE в г.Пронск и г.Новомичуринск

Номер eNB	Сектор	Азимут	Радиус зоны обслуживания, км	Условный номер части частотного спектра
1	1.1	0	5,11	1
	1.2	120	5,11	2
	1.3	240	5,11	3
2	2.1	0	5,11	1
	2.2	120	5,11	2
	2.3	240	5,11	3
3	3.1	0	5,11	1
	3.2	120	5,11	2
	3.3	240	5,11	3
4	4.1	0	5,11	1
	4.2	120	5,11	2
	4.3	240	5,11	3
5	5.1	0	5,11	1
	5.2	120	5,11	2
	5.3	240	5,11	3
6	6.1	0	5,11	1
	6.2	120	5,11	2
	6.3	240	5,11	3
7	7.1	0	5,11	1
	7.2	120	5,11	2
	7.3	240	5,11	3
8	8.1	0	5,11	1
	8.2	120	5,11	2
	8.3	240	5,11	3

Одним из основных параметров, влияющих на качество связи, помимо выходной мощности и чувствительности устройства, является качество антенно-фидерного устройства. Антенна не вносит дополнительных шумов и не усиливает помехи, поэтому хорошая направленная антенна позволяет избежать помех по направлению за счет использования узкого луча.

Антенны для базовой станции лучше использовать секторные. Чем меньше угол (сектор) обслуживания, тем меньше помех будет «собирать» такая антенна. Наиболее распространены антенны с шириной основного лепестка 60, 90 и 120 градусов с усилением от 17 до 13dB. Обычно в вертикальной плоскости ширина лепестка составляет 6-8 градусов, то есть излучение «прижато» к земле и распространяется вдоль горизонта. Чем меньше ширина главного лепестка антенны, тем больше ее усиление, обусловленное концентрацией излучаемой энергии. При выборе антенны следует пользоваться соответствующим расчетом, чтобы вычислить необходимый наклон антенны по углу места. Слишком малый угол излучения в вертикальной плоскости может ограничить подключение клиентов вблизи от базовой станции, особенно если последняя расположена слишком высоко.

Руководствуясь данными критериями, выберем модель антенны ADU451503 фирмы Huawei с двойной кроссполаризацией, работающей в диапазонах частот 790-960/1710-2180 МГц (рисунок 1.4.1). Это многодиапазонная антенна (multiband), в ней соединены две антенные решетки, которые работают в низком и высоком частотных диапазонах. При этом, для каждого частотного диапазона предусмотрен независимый механизм изменения угла наклона диаграммы направленности. Использование таких антенн позволит сэкономить место, которое занимала на мачте антенна. В современных антеннах с помощью электрической регулировки можно менять угол наклона диаграммы направленности без изменения самой ДН и делать это дистанционно. Такая технология получила название RET – Remote Electrical Downtilt. Это было реализовано за счет внутреннего фазовращателя.

Все эти новшества позволили более точно управлять углом наклона ДН (диаграмма направленности) и устанавливать границы соты. Электрический тилт данной антенны варьируется от 0° до 10°. В таблице 1.4.2 представлены ее электрические характеристики.

Таблица 1.4.2. Электрические характеристики антенны

Частотный диапазон, МГц	1710-1880		
Поляризация	+45°, -45°		
Электрический тилт (°)	0-10		
Усиление, дБи	0°	5°	10°
	16,7	16,8	16,6
Горизонтальная ДН	65°		
Вертикальная ДН	7°		
Импеданс, Ом	50		

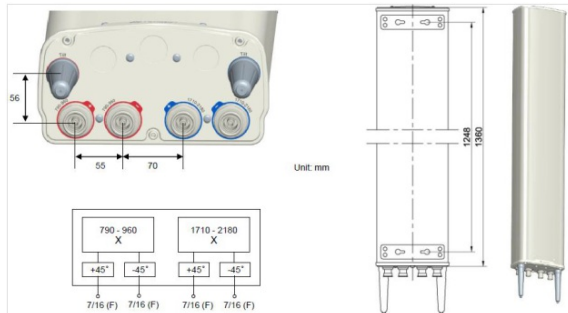


Рисунок 1.4.1. Антенна ADU451503 фирмы Huawei

Из формулы (1.4.1) найдем какой должен быть механический угол наклона антенны, чтобы главный лепесток покрыл требуемое расстояние.

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{h_1 - h_2}{r} \right) \quad (1.4.1)$$

где h_1 – высота подвеса базовой антенны, м;

h_2 – высота подвеса мобильной антенны, м;

r – расстояние (максимальная дальность связи), м.

В нашем случае:

$h_1 = 30$ м;

$h_2 = 3$ м;

$r = 1,62$ км

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{30 - 3}{1620} \right) = 1,03^\circ$$

Таким образом, для того, чтобы главный лепесток покрыл, рассчитанную максимальную дальность связи – 1,62 км, необходимо, чтобы механический угол наклона антенны был равен $1,03^\circ$.

1.5. Расчет параметров ВОЛС. Определение суммарного затухания на участке.

Расстояние между Пронском и Новомичуринском примерно 25км. В связи с тем, что технология LTE требует высокой скорости передачи информации и ее большого объема, целесообразнее в данном проекте в качестве транспорта связи проложить магистральный волоконно-оптический кабель.

Кабель будем прокладывать в грунте, поэтому в качестве передающей среды используем кабель марки ОКБ-Т. Его характеристики приведены в таблице 1.5.1.

Таблица 1.5.1 – Основные параметры кабеля марки ОКБ-Т

Параметры	Тип прокладки кабеля
	в грунте
1	3
Марка кабеля	ОКБ-Т
Число оптических волокон	4 – 24
Компания – производитель волокна	Fujikura
Тип волокна	ОМ
Число пластмассовых (металлических) модулей	1 (метал.)
Диаметр трубки модуля, мм	3,0 – 6,0
Число/диаметр корделей	-/3,0 – 6,0
Внешний диаметр кабеля, мм	18,5
Масса кабеля, кг/км	436
Рабочая температура окружающей среды, °С	-40 - +50
Минимальный радиус изгиба кабеля, мм	250
Допустимое растягивающее усилие, кН	7,0
Длина поставки, км	2,0

Суммарные потери a_{Σ} на участке сети рассчитываются по формуле:

$$a_{\Sigma} = n_{PC} \cdot a_{PC} + n_{NC} \cdot a_{NC} + a_t + a_{\theta}, \quad (1.5.1)$$

где n_{PC} – количество разъемных соединителей, $n_{PC} \approx 3$;

a_{PC} – потери в разъемных соединениях, $a_{PC} \approx 0,3$ дБ;

Примечание:

Качественный соединитель должен иметь вносимые потери в разъемных соединителях a_{PC} при прохождении сигнала не более 0,3 дБ. На сегодняшний день в России широко применяются типоразмеры оптических коннекторов FC, SC, ST, LC.

n_{NC} – количество неразъемных соединений;

a_{NC} – потери в неразъемных соединениях, $a_{NC} \approx 0,05$ дБ;

Примечание:

Сварочный шов, выполненный с соблюдением технологии, вносит затухание a_{NC} до 0,1 дБ. Я приняла потери в неразъемных соединениях, $a_{NC} \approx 0,05$ дБ

a_t – допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, $a_t = 1$ дБ;

a_{θ} – допуск на изменение характеристик компонентов на участке со временем, $a_{\theta} \approx 5$ дБ.

Количество неразъемных соединений рассчитывается по формуле:

$$n_{NC} = \frac{L_{уч}}{l_{сд}} - 1 \quad (1.5.2)$$

где $L_{уч}$ – длина участка, $L_{уч} \approx 25$ км;

$l_{сд}$ – строительная длина кабеля, согласно таблице 1.5.1. $l_{сд} = 2$ км.

$$n_{NC} = \frac{25}{2} - 1 \approx 11$$

$$a_{\Sigma} = 3 \cdot 0,3 + 11 \cdot 0,05 + 1 + 5 \approx 7,45 \text{ (дБ)}$$

Суммарное затухание на участке проектируемой сети между Пронском и Новомичуринском составило примерно 7,45 дБ.

1.6. Ситуационное расположение eNB на территории Пронского района.

Целью проектирования не является полный радиоохват территории района. Главное в данном проекте – это обеспечение устойчивым радиосигналом основной части населения Пронского района.

Как было сказано выше, основная часть населения проживает в городах Пронск и Новомичуринск. Минимальное количество базовых станций eNB, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом на территории планирования составляет 8 штук. Так как население Пронска составляет 3943 человека, а Новомичуринска – 19309 человек, то в Пронске разместим 3 базовых станции eNB (Рис.1.6.1), а в Новомичуринске – 5 базовых станции eNB (Рис.1.6.2).

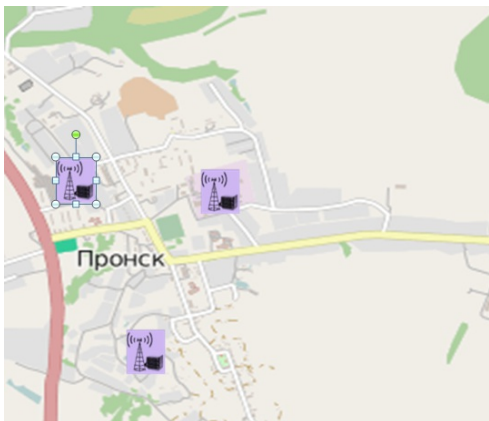


Рис. 1.6.1. Карта расположения базовых станции eNB в г.Пронск.

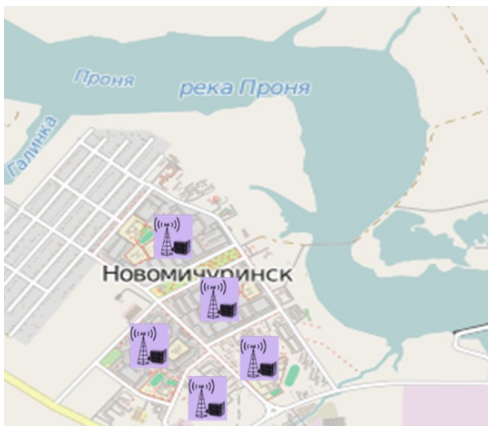


Рис.1.6.2. Карта расположения базовых станции eNB в г.Новомичуринск.

Для объединения в сеть 8 станций используется ВОК длиной 25 км между городами Пронск и Новомичуринск.

Как было рассчитано выше площадь S_{eNB} покрытия трехсекторного сайта составляет 5,11 км², а площадь г.Новомичуринск составляет 26км². Это значит, что в г.Новомичуринск будет осуществлен полный радиоохват территории с устойчивым радиосигналом.

Площадь города Пронск составляет 30км², но основная часть жилых и административных зданий находится примерно на территории 15км². Это означает, что и в г.Пронск также будет осуществлен полный радиоохват территории с устойчивым радиосигналом.

Таким образом, строится сеть, все eNB которой имеют следующие характеристики:

- мощность каждого передатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 30 метров;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
- системная полоса для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);
- MIMO 2 x 2 для линии вниз и 1 x 2 – для линии вверх ;
- пропускная способность: линия «вниз» - 50,79 Мбит/с, линия «вверх» - 22,05 Мбит/с.

1.7. Расчет скорости передачи данных базовой станций

Для расчета скорости передачи базовой станции в LTE сети для начала необходимо ознакомиться со структурой организации данных. Во временной области данные организованы в десяти миллисекундные радио-ячейки (Radio frame). Каждая из таких ячеек состоит из десяти одно-миллисекундных под-ячеек (Subframe), которые, в свою очередь делятся на два слота продолжительностью 0.5мс. В частотной области данные сгруппированы в группы по 12 под-несущих (Sub-carrier) частот, каждая из которых имеет диапазон в 15 кГц, что дает в сумме 180 кГц на группу. Группа из двенадцати под-несущих частот продолжительностью в один слот называется ресурсный блок (Resource Block). Наименьшая ресурсная единица в LTE представляет собой одну поднесущую частоту продолжительность в один слот и именуется как ресурсный элемент (Resource Element). В зависимости от типа защитного интервала (Cyclic Prefix) - нормальный или расширенный, один ресурсный блок состоит из 84 или 72 ресурсных элементов соответственно. Один ресурсный элемент, в зависимости от модуляционной техники может содержать 2 бита для QPSK, 4 бита для 16QAM и 6 бит для 64QAM.

Таким образом, на основании этих данных возможно рассчитать максимальную теоретическую пропускную способность базовой станции.

Если мы предположим выделение базовой станции максимального частотного диапазона – 20МГц, соответствующего 100 ресурсным блокам (табл.1.7.1), использование модуляции 16QAM и стандартного защитного интервала Cyclic Prefix, скорость передачи данных может быть рассчитана следующим образом. Каждый из 100 ресурсных блоков будет состоять из 84 ресурсных элементов, каждый из которых, в свою очередь, несет в себе 6 бит информации. Продолжительность ресурсного элемента – 0.5 мс. Таким образом, скорость передачи данных базовой станцией будет составлять:

$$\text{Скорость данных} = 100 \text{ РБ}[\text{ресурсных блоков}] \times 84 \text{ РЭ}[\text{Ресурсных элементов}] \times 4 \text{ [Бит]} / 0.5 \text{ [мс]} = 67.2 \text{ Мбит/с.}$$

Таблица 1.7.1. Соотношение между шириной полосы частот и числом ресурсных блоков

Полоса, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число поднесущих	72	180	300	600	900	1200
Число РБ	6	15	25	50	75	100

Однако, рассчитанная скорость передачи данных будет значительно превосходить полезную скорость передачи.

Мгновенная пользовательская скорость передачи данных будет зависеть от количества ресурсных блоков определенных пользователем, используемой модуляции и степени кодирования.

Рассмотрим случай, когда абоненту выделен частотный ресурс $15\text{кГц} \times 72 = 1,08 \text{ МГц} = 6 \text{ РБ}$, модуляционно-кодированная схема 16-QAM со скоростью кода $1/3$ ($CQI=7$). Ограничимся двумя передающими антеннами. Под каналы управления PCFICH, PHICH и PDCCH отводится 2 OFDM-символа на поднесущей. Используется нормальный циклический префикс CP (7 OFDM-символов на одной поднесущей за 0,5 мс.

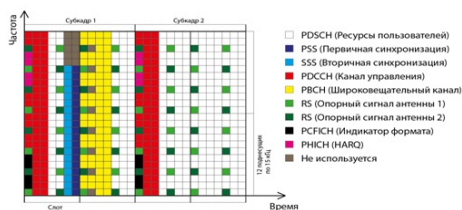


Рис.1.7.1. Структура кадра LTE в режиме FDD

Таблица 1.7.2. Назначение основных каналов управления и объем затрачиваемых на них ресурсов

Физические каналы в нисходящем направлении	Назначение	Объем затрачиваемых частотно-временных ресурсов, РЭ/кадр (ресурсный элемент)
PSS — Primary Synchronization Channel	Определение физического идентификатора соты	72
SSS — Secondary Synchronization Channel	Определение номера группы идентификатора соты	72
PBCH — Physical Broadcast Channel	В этом канале передается информация о ширине занимаемой полосы, номер кадра, а также конфигурация PHICH	$72 \cdot 4 = 288$
PDCCH — Physical Downlink Control Channel	Основной канал служебной информации. По нему передается большая часть системной информации, данные о распределении ресурсов нисходящего и восходящего каналов между абонентами и т.д.	От $N_{SFR} \cdot N_{RB} \cdot 12$ (min) - $N_{PCFICH} - N_{PHICH}$ до $N_{SFR} \cdot N_{RB} \cdot 12 \cdot 3$ (max) - $N_{PCFICH} - N_{PHICH}$
RS — Reference Signal	Пилот-сигнал. При использовании MIMO каждая антенна передает свои пилот-сигналы	$N_{SFR} \cdot N_{RB} \cdot 4 \cdot N_{MIMO}$
PCFICH — Physical Control Format Indicator Channel	Указывает, сколько OFDM-символов занимает PDCCH (от 1 до 3)	12
PHICH — Physical HARQ Indicator Channel	Передает информацию HARQ	12

Анализ показывает, что скорость передачи пользовательских данных в данном случае будет равна общему количеству переданных OFDM-символов за исключением служебных и управляющих и составит $(1008000 - 96000 - 144000 - 1152 - 28800) \cdot 4 \cdot 1/3 = 738048 \cdot 1,33 = 981603$ бит/с т.е. 0,98 Мбит/с. Если учесть, что прием UE осуществляется на 2 антенны, а передача ведется по технологии MIMO 2x2 в режиме пространственного мультиплексирования, то итоговая скорость передачи будет примерно равной $0,98 \cdot 2 = 1,96$ Мбит/с.

Литература:

- <http://www.moluch.ru/archive/31/3562/>
- В.Ю. Бабков. «Подходы к планированию и оптимизации сетей LTE» - Санкт-Петербург, 2014г.
- <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/55071629/>
- http://www.mforum.ru/arc/20110520_LTE_RNP_Varukina_180511.pdf
- <http://resurs-servis.ru/shirokopolosnyj-dostup-elte/raspredelemnaya-bazovaya-stantsiya-dbs3900>
- <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?ar=1&l=ru&n=17&pa=6>
- <http://xreferat.ru/38/2101-4-tehnologiya-razmesheniya-bazovyh-stanciyi-svyazi-standarta-dcs-1800.html>
- <http://seoofis.ru/bazovaya-stantsiya-huawei-dbs3900/>
- <http://www.telecomnetworks.ru/vendors/airspan/basestation/air4gvshuawei/>
- <http://www.nmkrupin.ru/obwimax.html>
- <http://omoled.ru/publications/view/646>
- <http://ru-4g.livejournal.com/331813.html>

13. <http://www.mforum.ru/analit/LTE.htm>
14. <http://www.mforum.ru/news/article/097078.htm>
15. <http://enterprise.huawei.com/fr/products/network/wireless/lte/hw-200717.htm>
16. http://450mhz.ru/mobile_hotspot?id=166
17. http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2010/fkita/zaporozhchenko/library/article_8.htm
18. <http://www.nporapira.ru/sections/4/articles/28>
19. <http://tkc.by/ru/products/product-14.html>
20. http://elib.psuti.ru/Dashkov_Baskakov_Romodina_Metodich_Izmer_summarn_zatuh_na_elementamom_kab_uchastke_VOLP.pdf
21. <http://rpls.ru/seminar/piter2011/Babkov.ppt>
22. <http://xreferat.ru/38/2101-4-tehnologiya-razmesheniya-bazovyh-stanciy-svyazi-standarta-dcs-1800.html>
23. <https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-disk-public%3A%2F%2F7Ar2IRxifqzvDG%2F%2FBd1awco8bfAlrtyL%2F7PhNiGxjBEfM%3D%3A%2F!%20Huawei%20Antenna%202012.pdf&name=!%20Huawei%20Antenna%202012.pdf&c=554325efa205>



Статья опубликована на сайте Omoled.ru - Образовательные сообщества
Ссылка на статью: <http://omoled.ru/publications/view/718>