

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ВАРИАНТ -3

Площадь территории покрытия	$S = 17 \text{ км}^2$
Высота подъема антенны базовой станции	$H_{\text{RBS}} = 30 \text{ м}$
Максимальная мощность мобильного терминала	$P_{\text{UE}} = 0,35 \text{ Вт}$
Номинальная мощность базовой станции	$P_{\text{NOM,RBS}} = 18 \text{ Вт}$
Максимальная нагрузка в UL	< 70% (рекомендация Ericsson)
Максимальная нагрузка в DL	< 76% (рекомендация Ericsson)
Потери в фидере	$L_{\text{F}} = 6,3 \text{ дБ}$
Потери в джампере и соединителе	$L_{\text{JC}} = 1 \text{ дБ}$
Потери в антенном системном контроллере ASC	$L_{\text{ASC}} = 0,2 \text{ дБ}$
Потери в антенном джампере	$L_{\text{AJ}} = 0,2 \text{ дБ}$
Коэффициент усиления антенны	$G_{\text{A}} = 18,5 \text{ дБi}$
Количество абонентов сети	$N = 50000$
Количество абонентов, работающих в голосовой моде	$N_{\text{V}} = 50000$
Количество абонентов, работающих в моде передачи пакетов	$N_{\text{PS}} = 6750$
Вероятность потерь вызова (норма потерь)	$\text{GoS} = 3 \%$
Количество вызовов в ЧНН для голосовой моды	$K_{\text{V}} = 0,44$
Средняя длительность разговора	$T_{\text{V}} = 3 \text{ мин}$
Объем передаваемых данных в ЧНН	$V_{\text{PS}} = 3600 \text{ кбит}$
Отношение (перекос) трафика в направлениях UL/DL	$r = 0,1 \text{ (или } 10 \%)$

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТОВ

Проектные процедуры, разбитые на 7 последовательно выполняемых шагов.

Шаг 1. Вычисление среднего графика по профилям обслуживания.

Для голосовой моды используется соотношение

$$Y_S = K_V * (T_V/60) * (N_V/N). \quad (1)$$

После подстановки получаем значение удельной абонентской нагрузки в Эрлангах :

$$Y_S = 0,44*(3/60)*(50000/50000)=0,022 \text{ (Эрл)} = 22 \text{ (мЭрл)}.$$

Для моды передачи пакетов V_{PS} переводят в килобайты (кБ)
 $3600\text{кбит}/8 = 450\text{кБ}$.

Далее объем передаваемых данных разбивают по направлениям UL и DL с учетом доли передающих пакеты абонентов в сети

$$V_{PS,UL} = r * V_{PS} * (N_{PS}/N), \quad (2)$$

$$V_{PS,DL} = (1-r) * V_{PS} * (N_{PS}/N). \quad (3)$$

После подстановки получаем

$$V_{PS,UL} = 0,1 * 450 * (7000/50000) = 45 * 0,14 = 6,3 \text{ кБ},$$

$$V_{PS,DL} = 0,9 * 450 * (7000/50000) = 405 * 0,14 = 56,7 \text{ кБ}.$$

Шаг 2. Выбор нагрузки UL для баланса.

По рекомендациям ETSI и производителей аппаратуры WCDMA, нагрузка в проектируемых сетях не должна быть менее 20%, а с другой стороны не должна превышать 70% для UL и 76% для DL. Выберем в качестве стартового значения для UL нагрузку 40% ($Q=0,4$), которой соответствует уровень интерференции $V_{I,UL}=2,2$ дБ.

Если при такой нагрузке баланс емкости и покрытия сети не будет соблюден, нагрузку следует повысить до 45%, 50% и т.д. до достижения баланса.

Значения $V_{I,UL}$ для разных нагрузок Q определяются по формуле

$$V_{I,UL} = 10 * \log(1/(1-Q)) \text{ [дБ]}. \quad (4)$$

В ходе расчетов выяснилось, что при нагрузке 40 и 50 %, не достигается баланс емкости/покрытия. Была взята нагрузка 60%.

$$V_{I,UL} = 10 * \log(1/(1-Q)) = 10 \log(1/1-0,6) = 10 \log(2,5) = 3,98 \text{ дБ}$$

Шаг 3. Определение количества сайтов по емкости для UL (нагрузка 40%).

Для выбранной нагрузки Q - количество трафик-каналов в секторной соте - определяется выражением

$$M=Q*M_{POLE}, \quad (5)$$

где M_{POLE} – предельное количество каналов в секторе, зависящее от моды и скорости передачи. Для 3-секторного сайта в городских условиях при передаче речи рекомендуется $M_{POLE}=70$.

После подстановки в (5) получаем

$$M=0,6*70=42 \text{ (канала)}.$$

Для заданной нормы потерь $GoS=3\%$ из таблицы распределения Эрланга находим суммарную нагрузку сектора (соты) $Y=34,305$ Эрл, которую могут обслужить $M=42$ канала. Количество абонентов в соте будет равно отношению Y к Y_S

$$N_{CELL} = Y / Y_S = 34,305 / 22 \text{мЭрл} \approx 1559 \text{ (абонентов)}. \quad (6)$$

Количество абонентов в трехсекторном сайте будет равно

$$N_{SITE} = 3 * N_{CELL} = 3 * 1559 = 4677 \text{ (абонентов)}. \quad (7)$$

Всего в сети для обслуживания нагрузки от 50000 абонентов потребуются сайты

$$M_{SITE} = N / N_{SITE} = 50000 / 4677 \approx 10 \text{ (сайтов)}. \quad (8)$$

Шаг 4. Определение количества сайтов по покрытию для UL (нагрузка 60%).

На данном шаге производится вычисление бюджета потерь для речевой моды и моды передачи пакетов в направлении UL с целью найти радиус R сайта, при котором связь возможна. Зная радиус, можно найти количество сайтов M_{SITE} , суммарная площадь которых будет не меньше заданной площади телефонизации $S=17\text{км}^2$. Результаты вычислений сведены в таблицу 1.

В таблице 1 для оценки затухания сигнала L при распространении на расстояние R используется модель Окамура-Хата для городской застройки следующего вида:

$$L = A + B \log(R) = 134,69 + 35,22 \log(R). \quad (9)$$

Таблица 1.

Параметр	Речевая мода	Коммутация пакетов	Расчетное соотношение
Мощность мобильной станции, P_{UE}^* , Вт	0,35	0,35	
Мощность мобильной станции, P_{UE} , дБ	25,44	25,44	$P_{UE} = a = 10 \lg P_{UE}^* + 30$
S_{UL} , дБ	-124,5	-124,5	b
Уровень интерференции $V_{L,UL}$, дБ	3,98	3,98	c
$V_{L,NF}$, дБ	7,5	7,5	d
V_{PC} , дБ	0,7	0,7	e
L_{BL} , дБ.	3	0	f
L_{BPL} , дБ.	18	18	g
L_{AJ} , дБ.	0,2	0,2	h
Коэффициент усиления антенны, G_A , дБi.	18,5	18,5	i
L_{MAX} , дБ	135,06	138,06	$L_{MAX} = a - b - c - d - e - f - g - h + i$
Меньшее из L_{MAX} , дБ	135,06		
Радиус сайта(соты), R , км.	1,02		$R = 10^{(L_{max} - A)/B}$, где $A = 134,69$, $B = 35,22$
Площадь сайта, S_{SITE} , км ²	2,02		$S_{SITE} = 1,95 * R^2$
Требуемое количество сайтов, M_{SITE} .	9		$M_{SITE} = S / S_{SITE}$ (округлять в большую сторону)

Шаг 5. Проверка баланса емкость/покрытие для UL.

Полученное на шаге 4 количество сайтов 9 совпадает с количеством сайтов 10, найденном на шаге 3. Таким образом, при 60% нагрузки баланс достигается.

Шаг 6. Проверка не превышения максимальной нагрузки для UL и DL.

Максимальная нагрузка Q_{MAX} для сектора в направлении UL определяется выражением

$$Q_{MAX} = N_{CELL}[(Y_S / M_{POLE}) + (V_{PS,UL} * 1024 * 8 * PF) / (3600 * 64 * 10^3 * M_{POLE,PS})], \quad (10)$$

где N_{CELL} – количество абонентов в секторе, пересчитанное с учетом найденного количества сайтов; $Y_S = 22$ мЭрл; $M_{POLE} = 70$; $V_{PS,UL} = 6,3$ кБ; $PF = 1,4$ – рекомендованное значение пик-фактора для передачи с коммутацией пакетов; $M_{POLE,PS} = 16$ – рекомендованное придельное число каналов с коммутацией пакетов на сектор.

Максимальная нагрузка Q_{MAX} для сектора в направлении DL так же вычисляется по выражению (10). Однако для этого направления принимают другие значения следующих параметров:

$$M_{POLE} = 60; M_{POLE,PS} = 8,9.$$

Кроме того, вместо $V_{PS,UL}$ в (10) подставляется $V_{PS,DL} = 56,7$ кБ.

Найденные выше $M_{SITE} = 9$ трехсекторных сайта имеют в каждой соте (секторе) следующее количество абонентов

$$N_{CELL} = N / (M_{SITE} * 3) = 50000 / (9 * 3) = 1851,85 \approx 1852. \quad (11)$$

Подстановка в (9) для UL дает результат

$$Q_{MAX} = 1852 * [(22 * 10^{-3} / 70) + (6,3 * 1024 * 8 * 1,4) / (3600 * 64 * 10^3 * 16)] = 0,92.$$

Таким образом, полученная максимальная нагрузка 92% для UL превышает нагрузку баланса 60%, найденную на шаге 5.

Для выполнения условия по не превышению максимальных нагрузок необходимо увеличить количество сайтов на один, т.е. положить $M_{SITE} = 9 + 1 = 10$ и для этого количества повторить вычисления по (10-11). Если условие не будет достигнуто, M_{SITE} увеличивают еще на один сайт и т.д.

В ходе расчетов выяснилось, что итерации заканчиваются при $M_{SITE} = 16$

При $M_{SITE} = 16$ трехсекторных сайта имеют в каждой соте (секторе) следующее количество абонентов

$$N_{CELL} = N / (M_{SITE} * 3) = 50000 / (9 * 16) \approx 1042.$$

Максимальная нагрузка для направления UL при $M_{SITE} = 16$ равна:

$$Q_{MAX} = 1042 * [(22 * 10^{-3} / 70) + (6,3 * 1024 * 8 * 1,4) / (3600 * 64 * 10^3 * 16)] = 0,52.$$

Вычисление Q_{MAX} для направления DL дает результат

$$Q_{MAX} = 1042 * [(22 * 10^{-3} / 60) + (56,7 * 1024 * 8 * 1,4) / (3600 * 64 * 10^3 * 8,9)] = 0,72.$$

Видно, что полученная нагрузка в 72% не превышает предел в 76% для данного направления.

Шаг 7. Выполнение проверки покрытия для DL.

На данном шаге выполняется проверка трех рекомендованных соотношений для мощностей сигналов (в Вт), излучаемых базовой станцией в направлении DL, а именно

$$P_{\text{CPICH}} \leq 0,1 P_{\text{NOM}}^* , \quad (12)$$

$$P_{\text{TOT}} \leq 0,75 P_{\text{NOM}}^* , \quad (13)$$

$$P_{\text{DCH}} \leq 0,3 P_{\text{NOM}}^* , \quad (14)$$

где P_{NOM} – номинальная мощность базовой станции в так называемой «системной контрольной точке», в качестве которой принят выход ASC, как показано на рис.1.3; P_{CPICH} – мощность общего пилотного канала в контрольной точке; P_{TOT} – полная мощность в контрольной точке; P_{DCH} – мощность выделенного канала в контрольной точке.

Значение P_{NOM} (дБ) пересчитывается из имеющегося в исходных данных значения мощности на выходе базовой станции $P_{\text{NOM,RBS}}$ (Вт) по следующему выражению

$$P_{\text{NOM}} = (10\log(P_{\text{NOM,RBS}}) + 30) - L_{\text{JC}} - L_{\text{F}}' - L_{\text{ASC}} \text{ (дБ)}. \quad (15)$$

Затухание фидера при высоте мачты базовой станции H_{RBS} пересчитывается по формуле

$$L_{\text{F}}' = L_{\text{F}} * (H_{\text{RBS}}/100) = 6,3 \text{ дБ}/100\text{м} * (30\text{м}/100) = 1,89 \text{ дБ}. \quad (16)$$

Из (15) и (16) после подстановки получаем

$$P_{\text{NOM}} = 10\log(18) + 30 - 1 - 1,89 - 0,2 = 39,5 \text{ дБ}$$

или в ваттах

$$P_{\text{NOM}}^* = 10^{(P_{\text{nom}} - 30)/10} = 8,9 \text{ Вт}.$$

По найденному на шаге 6 количеству сайтов $M_{\text{SITE}} = 16$ и заданной площади сети S , определяется радиус сайта (размер соты)

$$R = \sqrt{S / (1,95 * M_{\text{SITE}})} = \sqrt{17 / (1,95 * 16)} = 0,738 \text{ (км)}. \quad (17)$$

По (11) определяется количество абонентов в соте (секторе)

$$N_{\text{CELL}} = N / (M_{\text{SITE}} * 3) = 50000 / (16 * 3) = 1042.$$

По (10) определяется Q_{MAX} для направления DL

$$Q_{\text{MAX}} = 1042 * [(22 * 10^{-3} / 60) + (56,7 * 1024 * 8 * 1,4) / (3600 * 64 * 10^3 * 8,9)] = 0,72.$$

Для проверки условия (12) необходимо выполнить вычисления, сведенные в таблицу 2. В таблице присутствует ряд особых коэффициентов: V_{LNF} – логнормальные замирания и учет мягкого хэндовера; V_{PC} – порог регулирования мощности; L_{BL} – потери в теле человека; L_{CPL} – потери для абонента в автомобиле; L_{BPL} – потери стен зданий.

Таблица 2.

Параметр	Значение	Расчетное соотношение
Интенсивность теплового шума N_t , дБм/Гц	-174	a
Шум приемника мобильной станции N_f , дБ	7	b
Чиповая скорость R_{CHIP} , чип/с	$3,84 \cdot 10^6$	c
Отношение сигнал/шум для чипа E_C/N_0 , дБ	-16	d
Чувствительность мобильной станции S_{UL} , дБ	-117,2	$e = a+b+10\log(c) + d$
Радиус сайта (соты) R , км.	0,738	f
Затухание распространения L_{PATH} , дБ	130,11	$g = 134,69 + 35,22\log(f)$.
V_{LNF} , дБ	8,4	h
V_{PC} , дБ	0	i
L_{BL} , дБ.	3	j
L_{CPL} , дБ.	0	k
L_{BPL} , дБ.	18	l
L_J , дБ.	0,2	m
Коэффициент усиления антенны, G_A , дБi.	18,5	n
Полное затухание пилот-сигнала L_{SA} , дБ	141,21	$o = g+h+i+j+k+l+m-n$
Линеаризированное L_{SA}	$1,3 \cdot 10^{14}$	$p = 10^{(o/10)}$
Граница интерференции $V_{I,UL}$, дБ	5,54	$q = 10\log[1+(4,05 \cdot 10^{13})(6,375/p)]$
P_{CRICH} , дБм	29,55	$r = e+o+q$
P_{CRICH} , Вт	0,9	$s = 10^{(r-30)/10}$

Как видно из таблицы, полученное значение P_{CRICH} (в Вт) не удовлетворяет условию (12) т.к.:

$$0,9 \text{ Вт} > 0,1 \cdot 8,5 \text{ Вт} = 0,85 \text{ Вт}.$$

В соответствии с итерационным алгоритмом необходимо увеличить количество сайтов на 1.

При $M_{SITE} = 17$ и заданной площади сети S , определяется радиус сайта (размер соты)

$$R = \sqrt{S/(1,95 \cdot M_{SITE})} = \sqrt{17/(1,95 \cdot 17)} = 0,513 \text{ (км)}. \quad (17)$$

По (11) определяется количество абонентов в соте (секторе)

$$N_{\text{CELL}} = N / (M_{\text{SITE}} * 3) = 50000 / (17 * 3) = 980$$

По (10) определяется Q_{MAX} для направления DL

$$Q_{\text{MAX}} = 980 * [(22 * 10^{-3} / 60) + (56,7 * 1024 * 8 * 1,4) / (3600 * 64 * 10^3 * 8,9)] = 0,676.$$

Для проверки условия (12) необходимо выполнить вычисления, сведенные в таблицу 2. В таблице присутствует ряд особых коэффициентов: V_{LNF} - логнормальные замирания и учет мягкого хэндовера; V_{PC} -- порог регулирования мощности; L_{BL} - потери в теле человека; L_{CPL} - потери для абонента в автомобиле; L_{BPL} - потери стен зданий.

Таблица 2.1

Параметр	Значение	Расчетное соотношение
Интенсивность теплового шума N_t , дБм/Гц	-174	a
Шум приемника мобильной станции N_f , дБ	7	b
Чиповая скорость R_{CHIP} , чип/с	$3,84 * 10^6$	c
Отношение сигнал/шум для чипа E_c / N_0 , дБ	-16	d
Чувствительность мобильной станции S_{UL} , дБ	-117,2	$e = a + b + 10 \log(c) + d$
Радиус сайта (соты) R , км.	0,513	f
Затухание распространения L_{PATH} , дБ	124,48	$g = 134,69 + 35,22 \log(f)$.
V_{LNF} , дБ	8,4	h
V_{PC} , дБ	0	i
L_{BL} , дБ.	3	j
L_{CPL} , дБ.	0	k

Продолжение таблицы 2

L_{BPL} , дБ.	18	l
L_j , дБ.	0,2	m
Коэффициент усиления антенны, G_A , дБi.	18,5	n
Полное затухание пилот-сигнала L_{SA} , дБ	135,58	$o = g + h + i + j + k + l + m - n$
Линеаризированное L_{SA}	$3,6 * 10^{13}$	$p = 10^{(o/10)}$

Граница интерференции $V_{L,UL}$, дБ	9,12	$q=10\log[1+(4,05*10^{13})(6,375/p)]$
P_{CRICH} , дБм	27,5	$r=e+o+q$
P_{CRICH} , Вт	0,56	$s=10^{(r-30)/10}$

Как видно из таблицы, полученное значение P_{CRICH} (в Вт) удовлетворяет условию (12):

$$0,56 \text{ Вт} \leq 0,1 * 8,5 \text{ Вт} = 0,85 \text{ Вт}.$$

Для проверки условия (13) необходимо выполнить вычисления, сведенные в таблицу 3. Следует обратить внимание на несколько иные значения параметров затуханий, используемые в данной таблице.

Таблица 3.

Параметр	Значение	Расчетное соотношение
P_{CRICH} , Вт	0,56	a
P_{CSH} , Вт	1,4	$b=2,5*a$
Затухание распространения L_{PATH} , дБ	124,48	c (из табл. 2)
$V_{L,NF}$, дБ	7	d
V_{PC} , дБ	0,7	e
L_{BL} , дБ.	3	f
L_{CPL} , дБ.	0	g
L_{BPL} , дБ.	18	h
L_J , дБ.	0,2	i
Коэффициент усиления антенны, G_A , дБi.	18,5	j
Полное затухание L_{SA} , дБ	135	$k=c+d+e+f+g+h+i-j$
Линеаризированное L_{SA}	$10^{13,5}$	$l=10^{(k/10)}$
N	$1,11363*10^{-14}$	m
Q_{MAX}	0,7	n
P_{TOT} , Вт	5,42	$o=(b+m*l)/(1-n)$

Найденное значение P_{TOT} (в Вт) удовлетворяет условию (13)

$$5,42 \text{ Вт} \leq 0,75 * 8,5 \text{ Вт} = 6,37 \text{ Вт}.$$

Далее переходим к проверке условия (14). Вычисления для проверки этого условия (при передаче речи) аналогичны расчетам из табл.2, но отличаются иными значениями ряда констант. Вычисления (при $M_{SITE}=17$) сведены в таблицу 4. Следует отметить, что в таблице 4 следует применить значение P_{TOT} , которое будет получено при последнем применении таблицы 3.

Таблица 4.

Параметр	Значение	Расчетное соотношение
Интенсивность теплового шума N_t , дБм/Гц	-174	a
Шум приемника мобильной станции N_f , дБ	7	b
Битовая скорость передачи речи R_{INFOR} , бит/с	156000	c
Отношение сигнал/шум для бита E_b/N_0 , дБ	7,2	d
Чувствительность мобильной станции S_{UL} , дБ	-117,87	$e = a+b+10\log(c) +d$
Радиус сайта (соты) R , км.	0,513	f
Затухание распространения L_{PATH} , дБ	124,48	$g =134,69 + 35,22\log(f)$.
$V_{L,NF}$, дБ	7	h
V_{PC} , дБ	0,7	i
L_{BL} , дБ.	3	j
L_{CPL} , дБ.	0	k
L_{BPL} , дБ.	18	l
L_J , дБ.	0,2	m
Коэффициент усиления антенны, G_A , дБi.	18,5	n
Полное затухание DCH канала L_{SA} , дБ	135	$o =g+h+i+j+k+l+m-n$
Линеаризированное L_{SA}	$10^{13,5}$	$p =10^{(o/10)}$
Граница интерференции $V_{I,UL}$, дБ	4,74	$q=10\log[1+(1,74*10^{13})(P_{TOT}/p)]$, где $P_{TOT}=6,1$ Вт
P_{DCH} , дБм	21,87	$r =e+o+q$
P_{DCH} , Вт	0,153	$s =10^{(r-30)/10}$

Как видно, найденное значение P_{DCH} (Вт) удовлетворяет условию (14):
 $0,153 \text{ Вт} < 0,3*8,9 \text{ Вт} = 2,67 \text{ Вт}$.

Таким образом, в данном примере расчета окончательно можно принять структуру сети WCDMA из 17 трехсекторных сайтов на площади в 17 км^2 .