

Методические указания к выполнению задания 1.

Задание 1. Расчет в нулевом приближении сотовой сети GSM при передаче телефонного трафика.

В задании 1 требуется спланировать в нулевом приближении сеть GSM в городе при следующих исходных данных:

1. Площадь города в км² – $S_{\text{сети}}$,
2. Число абонентов в зоне обслуживания в тысячах человек – $M_{\text{сети}}$,
3. Диапазон рабочих частот стандарта GSM: для всех **нечетных вариантов** следует выбрать **GSM-900**, для четных – **GSM-1800**.

Варианты заданий приведены в табл.1. Номер варианта в группе РМ-51 совпадает с номером по списку группы. Номер варианта в группе РМ-52 определяется как номер по списку + число **30**.

В начале отчета должна быть размещена таблица исходных данных (табл.2).

Таблица 2

ФИО студента	Группа
Номер варианта	
Диапазон рабочих частот (МГц)	
Площадь зоны обслуживания (города) $S_{\text{сети}}$	
Число абонентов в зоне обслуживания $M_{\text{сети}}$	

Основное допущение при планировании сети сотовой связи в нулевом приближении состоит в том, что считаем распределение абонентов в заданной зоне равномерным, так что сеть состоит из множества одинаковых по размеру сот, которые будем условно представлять в виде правильных шестиугольников. На практике в сетях GSM используют кластеры с секторизованными сотами типа 3/9 и 4/12 (рис. 1а – 1б). Это позволяет получать на границе сот отношение сигнал/помеха с вероятностью порядка 80% не хуже нормы 9 дБ.

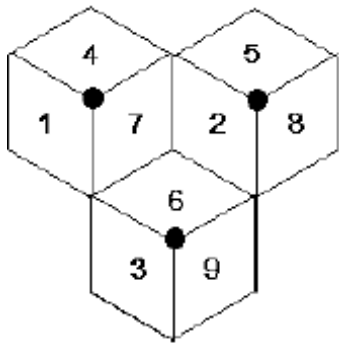


Рис. 1а.
Кластер 3/9

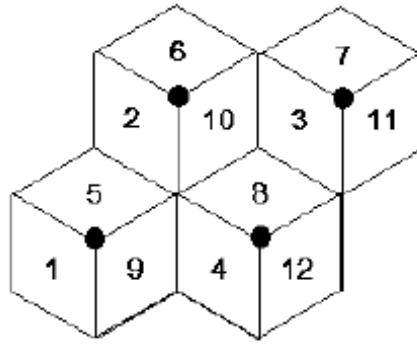


Рис. 1б.
Кластер 4/12

При выполнении задания 1 требуется

- 1) произвести оптимальный выбор частотных каналов,
- 2) рассчитать число сот в сети,
- 3) найти максимальное удаление в соте абонентской станции (АС) от базовой станции (БС),
- 4) рассчитать потери на трассе,
- 5) определить мощность передатчиков базовой станции.

Таблица 1

N варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Площадь города в км ²	20	40	35	35	30	50	50	70	80	60	100	75	120	80	130	85	140	100	180	130
Число абонентов, тыс. чел.	10	20	15	10	15	20	30	30	40	40	45	50	50	60	60	70	70	80	80	80
N варианта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Площадь города в км ²	180	150	220	130	160	220	150	250	190	270	200	250	320	285	300	220	330	275	400	320
Число абонентов, тыс. чел.	90	90	90	100	100	100	120	120	120	130	140	150	150	150	175	175	190	190	200	200
N варианта	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Площадь города в км ²	340	500	360	320	480	540	400	600	550	425	560	480	400	700	1200	1000	650	800	1200	1000
Число абонентов, тыс. чел.	240	240	270	260	275	275	300	300	320	350	375	380	400	400	420	450	450	500	500	550

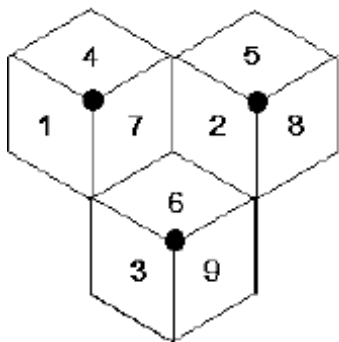


Рис. 1а.
Кластер 3/9

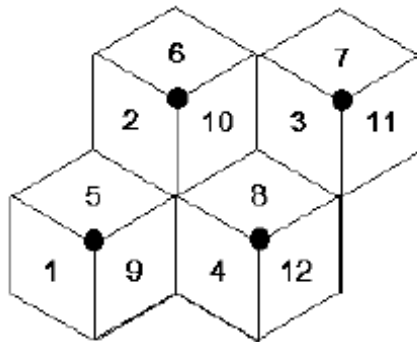


Рис. 1б.
Кластер 4/12

При выполнении задания 1 требуется

- 1) произвести оптимальный выбор частотных каналов,
- 2) рассчитать число сот в сети,
- 3) найти максимальное удаление в сети абонентской станции (АС) от базовой станции (БС),
- 4) рассчитать потери на трассе,
- 5) определить мощность передатчиков базовой станции.

1 этап выполнения работы.

На первом этапе работы должно быть найдено оптимальное решение по пп.1 – 3 вышеприведенных требований. Начинать следует с выбора частотных каналов в соте. Вначале берут 1 канал, затем 2, 3, возможно и больше. Однако увеличение числа каналов чрезвычайно существенно влияет на оплату оператором их аренды. Вместе с тем, с уменьшением числа каналов в соте возрастает число сот в сети и уменьшаются их размеры. Это удорожает развертывание и обслуживание сот. Минимальные размеры соты обычно определяет число допустимых хэндоверов. Поэтому для сетей GSM-900 радиус соты R должен быть не менее 1,1 – 1,4 км, а для сетей GSM-1800 не менее 600 – 800м (рис. 2).

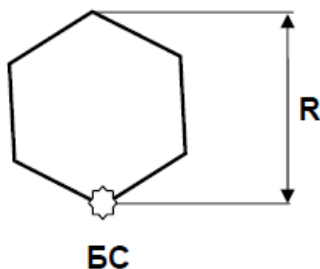


Рис. 2. Секторизованная сота

Так как в одном частотном канале GSM существуют 8 независимых физических каналов, то из табл. 3 определяем число каналов трафика.

Таблица 3

Число частотных каналов	1	2	3	4	5
Число физических каналов	8	16	24	32	40
Используют под каналы управления	1	2	2	3	3 - 4
Число каналов трафика	7	14	22	29	36-37

Выбрав число каналов, определяют допустимый трафик в соте на основе статистики абонентов по формуле Эрланга.

Трафик характеризуют объемом передаваемой информации. При передаче данных трафик определяют скоростью передачи (бит/с) и временем передачи, т.е. числом переданной информации в битах. В телефонии единицей измерения трафика является **эрланг**. 1 Эрл – это занятость одного телефонного (ТФ) канала в течение часа. На рис.3 представлены различные варианты трафика ТФ каналов.

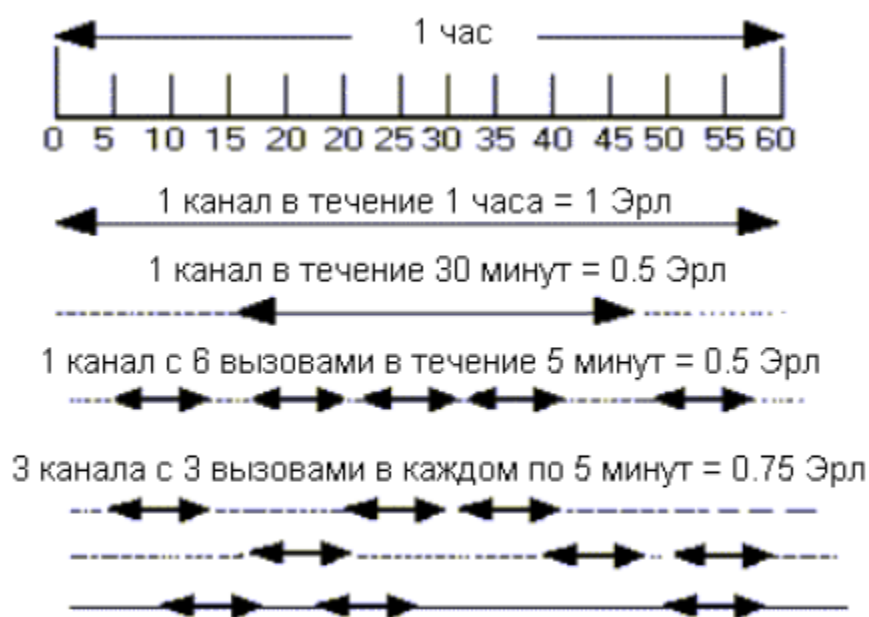


Рис.3. Варианты трафика

Расчет допустимого трафика, а следовательно, и максимального числа обслуживаемых абонентов при заданном числе каналов является статистической задачей. Формула Эрланга связывает число каналов трафика в соте $N_{\text{сот}}$, допустимый трафик в соте $A_{\text{сот}}$ в Эрлангах и вероятность отказа абоненту в предоставлении канала в час наибольшей нагрузки $p_{\text{отк}}$.

$$p_{отк} = \frac{A_{com}^{N_{com}} / N_{com}!}{\sum_{l=0}^{N_{com}} A_{com}^l / l!}$$

Формулы Эрланга табулированы; таблицы Эрланга помещены в Приложении. В сотовых сетях принято $p_{отк} = 0,02$.

При расчете в соответствии с числом каналов в соте по таблицам Эрланга находим допустимый трафик в соте $A_{сот}$. Далее, задаваясь средним трафиком одного абонента в ЧНН (час наибольшей нагрузки) $A_1 = 0,015 - 0,025$ Эрл, определяем допустимое число абонентов в соте

$$M_{сот} = A_{сот} / A_1,$$

и число сот в городе

$$q_{сот} = M_{сети} / M_{сот}.$$

Площадь соты

$$S_{сот} = S_{сети} / q_{сот}.$$

Радиус соты в виде правильного шестиугольника (рис. 2)

$$R \approx \sqrt{\frac{S_{сот}}{0,65}},$$

где R – максимальное удаление мобильной станции от базовой станции в соте.

Поясним приведенный алгоритм расчета на примере для случая, когда в соте работают 2 частотных канала.

Исходные данные: площадь сети $S_{сети} = 80 \text{ км}^2$, число абонентов в сети $M_{сети} = 55000$ чел.

В соответствии с табл. 3 при 2 частотных каналах в соте можно организовать 14 каналов трафика. Задавшись $p_{отк} = 0,02$ по таблицам Эрланга в приложении находим $A_{сот} = 8,2$ Эрл. Примем $A_1 = 0,015$ Эрл.

Тогда $M_{сот} = A_{сот} / A_1 = 8,2 / 0,015 \approx 550$ чел.

Общее число сот в городе

$$q_{сот} = M_{сети} / M_{сот} = 55000 / 550 = 100$$

Площадь одной соты

$$S_{сот} = S_{сети} / q_{сот} = 80 / 100 = 0,8 \text{ км}^2$$

Радиус соты

$$R \approx \sqrt{\frac{S_{\text{сот}}}{0,65}} = \sqrt{\frac{0,8}{0,65}} = 1,1 \text{ км}$$

Это число приемлемо для сетей GSM-1800, но на грани допустимого для сетей GSM-900.

В результате расчетов на первом этапе выполнения задания должна быть заполнена табл. 4.

Таблица 4

Число частот в соте	1	2	3	4 и 5 при необходимости
Число частот в сети: кластер 3/9, кластер 4/12				
Трафик в соте, $A_{\text{сот}}$				
Число абонентов в соте, $M_{\text{сот}}$				
Число сот в сети, $q_{\text{сот}}$				
Площадь соты, $S_{\text{сот}}$ км ²				
Радиус соты, R км				

На основе анализа данных табл. 4 следует выбрать оптимальный вариант сети, который бы минимизировал общее число частотных каналов при допустимых размерах сот.

2 этап выполнения задания.

На втором этапе выполнения работы следует обеспечить баланс мощностей в соте радиуса R для сети, выбранной в результате выполнения 1этапа. Уравнения баланса мощностей составляют на основе учета всехособенностей прохождения сигнала на трассе (рис. 4).

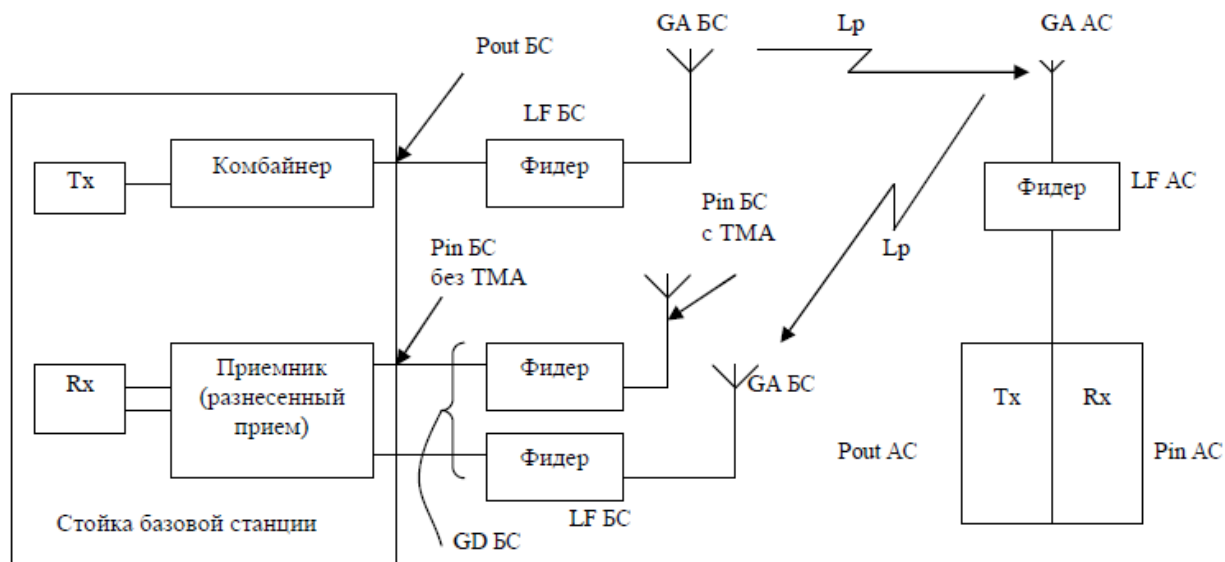


Рис. 4. К определению баланса мощностей

На рис. 4 обозначены:

G – усиление

L – потери

L_p – потери на трассе

A - антенна

D - разнесение

F - фидер

C – комбайнер

Tx – передатчик

Rx – приемник

P_{in} – входная мощность

P_{out} – выходная мощность

TMA (Tower Mounted Amplifier) – малошумящий усилитель на входе приемника.

Расчеты трасс сетей подвижной связи ведут с использованием логарифмов потерь на трассах, в фидерах, комбайнерах и логарифмов коэффициентов усиления антенн и дополнительных усилителей. При этом мощности на выходе передатчика и на входе приемника выражают в децибелах на милливатт (дБм) согласно формуле

$$P(\text{дБм}) = 10 \lg P(\text{мВт})$$

Некоторые полезные соотношения между $P(\text{дБм})$ и $P(\text{мВт})$ приведены в табл. 5.

Таблица 5

P (мВт)	20 Вт	10 Вт	2 Вт	1 Вт	100	20	1	10^{-10}	10^{-11}
P (дБм)	43	40	33	30	20	13	0	-100	-110

Уравнение баланса мощностей в направлении вверх (АС → БС):

$$P_{in\ БС} = P_{out\ АС} - L_{f\ АС} + G_{a\ АС} - L_p + G_{a\ БС} + G_{d\ БС} - L_{f\ БС} \quad (1)$$

Уравнение баланса мощностей в направлении вниз (БС → АС):

$$P_{in\ АС} = P_{out\ БС} - L_{f\ БС} + G_{a\ БС} - L_c - L_p + G_{a\ АС} - L_{f\ АС} \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) все коэффициенты усиления и ослабления выражены в децибелах, а мощности в децибелах на милливатт (дБм).

$P_{in\ БС}$ и $P_{in\ АС}$ – мощности на входе приемников БС и АС,

$P_{out\ БС}$ и $P_{out\ АС}$ – мощности на выходе передатчиков БС и АС,

$G_{a\ БС}$ и $G_{a\ АС}$ – коэффициенты усиления антенн БС и АС,

$L_{f\ БС}$ и $L_{f\ АС}$ – потери в фидерах БС и АС,

L_c – потери в комбайнере,

L_p – потери на трассе,

$G_{d\ БС}$ – выигрыш за счет разнесенного приема сигналов на БС (3...4 дБ),

Вставка 1. Антенны и разнесенный прием

Параметры антенн

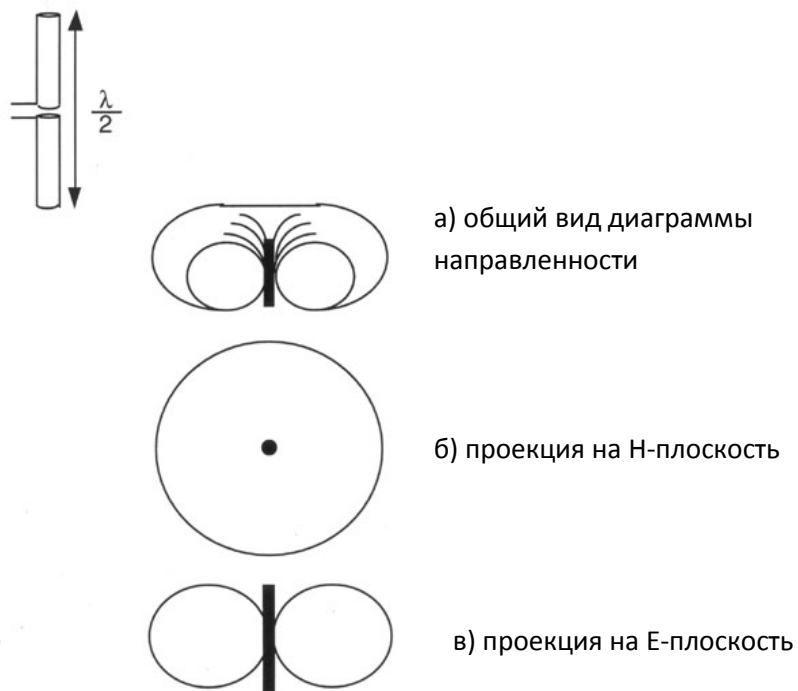


Рис. В.1. Полуволновой вибратор



Рис. В.2. Диаграммы направленности реальной антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях

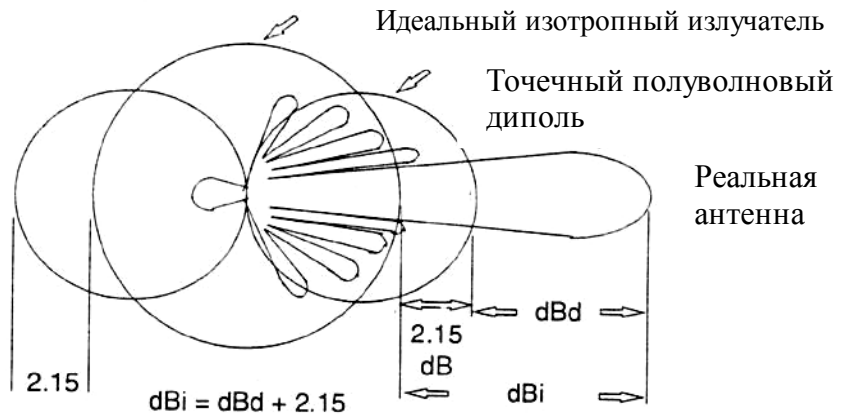


Рис. В.3. К определению коэффициента усиления антенны

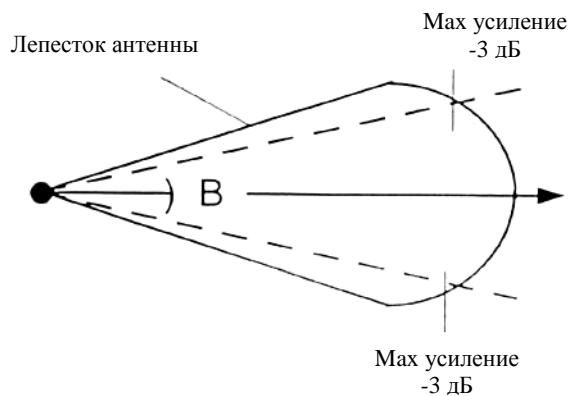


Рис. В.4. Определение ширины луча

Разнесенный прием.

В сетях подвижной связи на базовых станциях широко используют разнесенный прием по расстоянию и по поляризации. Пример структуры антенн с пространственным разнесением показан на рис. В.5.



$$1 \lambda = 0.33 \text{ м на } 900 \text{ МГц}$$

$$1 \lambda = 0.17/0.16 \text{ м на } 1800/1900 \text{ МГц}$$

Рис. В.5 Система антенн с пространственным разнесением

Пример структуры антенн в трехсекторной сети с разнесением по поляризации показан на рис. В.6.

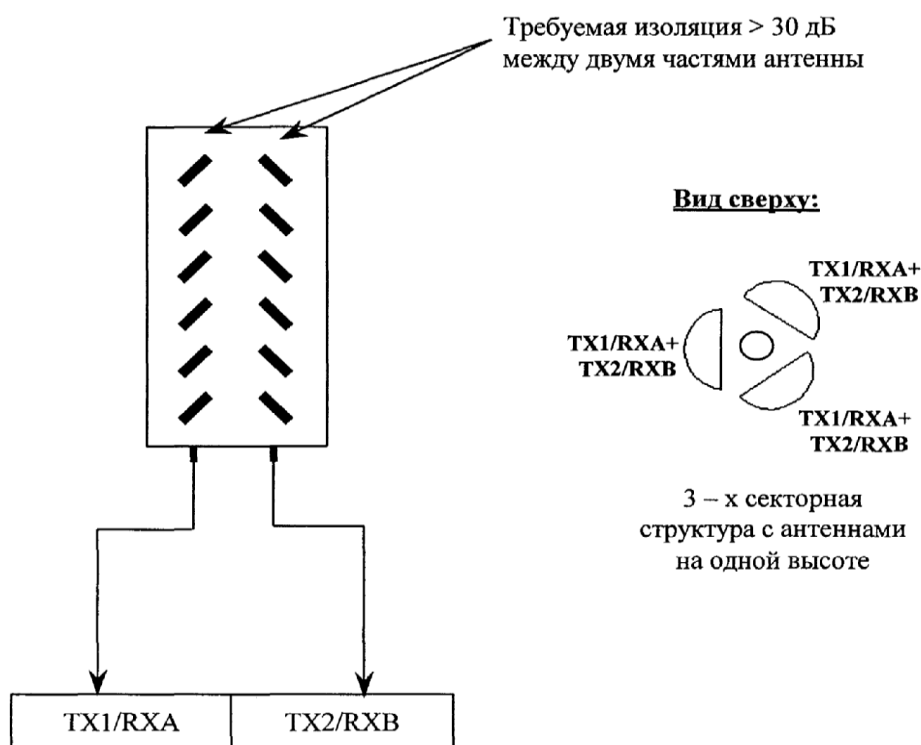


Рис. В.6. Конфигурация антенн с разнесением по поляризации

При расчетах можно использовать следующие параметры абонентских и базовых GSM станций.

В абонентских станциях GSM 900/1800 класса 4/1 максимальная выходная мощность передатчиков $P_{out AC} = 2$ Вт на 900 МГц и 1 Вт на 1800 МГц.

Чувствительность приемников, т.е. минимальная $P_{in AC} = -104$ дБм в обоих диапазонах. Однако, при расчетах желательно обеспечить запас по чувствительности на 10 дБ.

Чувствительность приемников базовых станций при наличии дополнительного маломощного усилителя ТМА (рис. 4) на входе приемного тракта $P_{in BC} = -111$ дБм, а без него -106 дБм. Что касается мощностей передатчиков БС, то их стандартные значения у разных производителей лежат в пределах 28 – 50 Вт (хотя есть и маломощные станции мощностью 1..2 Вт для сетей внутри зданий.).

При проверке баланса мощностей вверх (уравнение 1) можно принять $L_{f AC} = 0$, $G_{a AC} = 0$, $G_{a BC} = 15 - 17$ дБ, $L_{f BC} = 2$ дБ, $G_{d BTS} = 3$ дБ (используем разнесенный прием).

При проверке баланса мощностей вниз (уравнение 2) можно принять $L_{f BC} = 2$ дБ, $G_{a BC} = 15 - 17$ дБ, $L_c = 0$, если в соте 1 или 2 частоты, и $L_c = 3$ дБ, если в соте 3 – 4 частоты; $L_{f AC} = 0$, $G_{a AC} = 0$.

Потери на трассе определяем по модели Окумура – Хата. Данный метод основан на аналитической аппроксимации результатов практических измерений, где исходными величинами являются расстояние R , рабочая частота f , высоты подвеса антенн базовой станции h_{BTS} и мобильной станции h_{MS} . Набор эмпирических формул и поправочных коэффициентов, полученный в результате такой аппроксимации, позволяет рассчитать средние потери для различных типов местности. Условия применимости модели: $f = 150...1500$ МГц, $h_{BTS} = 30...200$ м, $h_{MS} = 1...10$ м.

В районах с **типичной городской застройкой (typical urban)** потери составляют

$$L_{urban} = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{BTS} - a(h_{MS}) + (44,9 - 6,55 \lg h_{BTS}) \lg R \text{ [дБ]},$$

где f - несущая частота, МГц; h_{BTS} и h_{MS} - высоты антенн BTS и MS, м; $a(h_{MS})$ - поправочный коэффициент; R - расстояние между BTS и MS, км.

Поправочный коэффициент $a(h_{MS})$ зависит от типа местности, в которой действует система связи. Для **малых и средних городов**

$$a(h_{MS}) = (1,1 \lg f - 0,7) h_{MS} - (1,56 \lg f - 0,8),$$

для **больших городов**

$$a(h_{MS}) = \begin{cases} 8,9 [\lg(1,54 h_{MS})]^2 - 1,1 & \text{при } f \leq 200 \text{ МГц} \\ 3,2 [\lg(11,75 h_{MS})]^2 - 4,97 & \text{при } f \geq 400 \text{ МГц} \end{cases}$$

В **типичных пригородных районах (typical suburban)** величина потерь

$$L_{suburban} = 63,35 + 27,72 \lg f - 13,82 \lg h_{BTS} - (1,1 \lg f - 0,7) h_{MS} + (44,9 - 6,55 \lg h_{BTS}) \lg R - 2 [\lg(f/28)]^2 \text{ [дБ]}.$$

В **сельской местности (rural)**

$$L_{rural} = 27,81 + 46,05 \lg f - 13,82 \lg h_{BTS} - (1,1 \lg f - 0,7) h_{MS} + (44,9 - 6,55 \lg h_{BTS}) \lg R - 4,78 (\lg f)^2 \text{ [дБ]}.$$

В диапазоне **1500 – 2000 МГц** расчеты ведут на модели **COST 231 Хата [COST 231 TD (90) 119]**.

Средний город и пригородный центр с умеренной плотностью посадки деревьев -

$$L_{\text{urban}} = 45,55 + 34,5 \lg f - 13,82 \lg h_{\text{BTS}} - (1,1 \lg f - 0,7) h_{\text{MS}} + (44,9 - 6,55 \lg h_{\text{BTS}}) \lg R$$

[дБ].

В центре столичного города

$$L_{\text{urban}} = 48,55 + 34,5 \lg f - 13,82 \lg h_{\text{BTS}} - (1,1 \lg f - 0,7) h_{\text{MS}} + (44,9 - 6,55 \lg h_{\text{BTS}}) \lg R$$

[дБ].

В сельской местности (квазиоткрытой зоне)

$$L_{\text{rural}} = 9,56 + 53,73 \lg f - 13,82 \lg h_{\text{BTS}} - 4,78(\lg f)^2 + (44,9 - 6,55 \lg h_{\text{BTS}}) \lg R$$

[дБ].

Так как конкретные частотные каналы неизвестны, то при расчетах сетей GSM-900 следует ориентироваться на средние частоты диапазонов: вниз БС → АС 935...960 МГц, вверх АС → БС 890...915 МГц. В диапазоне 1800 МГц передачу вниз БС → АС ведут на частотах 1805...1880 МГц, а вверх АС → БС 1710...1780 МГц.

Приведем пример проверки баланса мощностей на трассе вниз по формуле (2) при следующих исходных данных: диапазон частот 1800 МГц (средняя частота поддиапазона вниз БС → АС: 1842 МГц), $h_{\text{БС}} = 30$ м; $h_{\text{АС}} = 1,5$ м; $R = 1$ км; зона – средний город.

Тогда средние (медианные) потери на трассе согласно модели COST 231 составляют $L_{\Gamma} = 133,2$ дБ. Необходимый запас мощности сигнала для его уверенного приема в 90% площади с вероятностью 75% $\Delta P_{\sigma} = 0,68 \cdot \sigma = 0,68 \cdot 8 = 5,6$ дБм, где $\sigma = 8$ дБ - среднеквадратичное отклонение сигнала из-за флуктуаций в точке приема. Кроме того, учтем дополнительные потери в здании $L_{\text{доп}} = 10$ дБ. Итак, суммарные потери на трассе $L_p = 133,2 + 5,6 + 10 = 148,8$ дБ. Теперь рассчитаем мощность сигнала на входе приемника АС, если мощность передатчика БС составляет 28 Вт (44,5 дБм):

$$P_{\text{in AC}} = P_{\text{out BC}} - L_{\text{f BC}} + G_{\text{a BC}} - L_{\text{с}} - L_p + G_{\text{a AC}} - L_{\text{f AC}} = 44,5 - 2 + 16 - 0 - 148,8 + 0 + 0 = -90,3 \text{ дБм}$$

Аналогично по формуле (1) проверяем баланс мощностей на трассе вверх. Средняя частота поддиапазона вверх АС → БС: 1744 МГц. При тех же $h_{\text{БС}}$ и $h_{\text{АС}}$ средние потери на трассе согласно модели COST 231 составляют $L_{\Gamma} = 133,0$ дБ, т.е. практически не отличаются от потерь на трассе вниз. При тех же $\Delta P_{\sigma} = 5,6$ дБм и потерях в здании $L_{\text{доп}} = 10$ дБ при мощности передатчика АС 1 Вт получаем:

$$P_{\text{in BC}} = P_{\text{out AC}} - L_{\text{f AC}} + G_{\text{a AC}} - L_p + G_{\text{a BC}} + G_{\text{d BC}} - L_{\text{f BC}} = 30 - 0 + 0 - 148,6 + 16 + 3 - 2 = -101,6 \text{ дБм.}$$

Найденные величины $P_{\text{in AC}}$ и $P_{\text{in BC}}$ должны превышать чувствительность приемников мобильной станции -104 дБв и базовой станции -111 дБм. Если они

оказываются меньше, то следует попробовать увеличить высоту подвеса антенны БС или уменьшить радиус соты.

В отчете по второму этапу задания следует при вести формулу, по которой производили расчет потерь на трассе L_p , и заполнить итоговую табл.6.

Таблица 6

Трасса вниз БС \Rightarrow АС														
F (МГц)	$h_{БС}$ (м)	$h_{АС}$ (м)	R (км)	L_r (дБ)	ΔP_σ (дБ)	$L_{доп}$ (дБ)	$P_{outБС}$ (дБм)	$L_{БС}$ (дБ)	$G_{зБС}$ (дБ)	L_c (дБ)	L_p (дБ)	$G_{зАС}$ (дБ)	$L_{фАС}$ (дБ)	$P_{inАС}$ (дБ)
Трасса вверх АС \Rightarrow БС														
F (МГц)	$h_{БС}$ (м)	$h_{АС}$ (м)	R (км)	L_r (дБ)	ΔP_σ (дБ)	$L_{доп}$ (дБ)	$P_{outАС}$ (дБм)	$L_{фАС}$ (дБ)	$G_{зАС}$ (дБ)	L_p (дБ)	$G_{зБС}$ (дБ)	$G_{дБС}$ (дБ)	$L_{БС}$ (дБ)	$P_{inБС}$ (дБ)

Модель Эрланга В (система с отказами)

Число каналов N _г	Вероятность блокировки P _{бл} , %					
	0.1	0.5	1.0	2	5	10
	Трафик (Эрланг)					
1	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111
2	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954
3	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271
4	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045
5	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881
6	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758
7	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	2.666
8	2.051	2.730	3.128	3.627	2.543	5.597
9	2.558	3.333	3.783	2.345	5.370	6.546
10	3.092	3.961	2.461	5.084	6.216	7.511
11	3.651	2.610	5.160	5.842	7.076	8.487
12	2.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474
13	2.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47
14	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47
15	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48
16	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50
17	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52
18	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55
19	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58
20	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61
21	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65
22	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69
23	11.52	13.42	12.47	15.76	18.08	20.74
24	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78
25	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83

Таблица II. (продолжение)

Число каналов N_T	Вероятность блокировки $P_{бл}$, %					
	0.1	0.5	1.0	2	5	10
	График (Эрланг)					
26	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89
27	12.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94
28	15.18	17.41	18.64	20.15	22.87	26.00
29	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05
30	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11
31	17.44	19.85	21.19	22.83	25.77	29.17
32	18.21	20.68	22.05	23.73	26.75	30.24
33	18.97	21.51	22.91	24.63	27.72	31.30
34	19.74	22.34	23.77	25.53	28.70	32.37
35	20.52	23.17	24.64	26.44	29.68	33.43
36	21.30	24.01	25.51	27.34	30.66	32.50
37	22.08	24.85	26.38	28.25	31.64	35.57
38	22.86	25.69	27.25	29.17	32.62	36.64
39	23.65	26.53	28.13	30.08	33.61	37.72
40	24.44	27.38	29.01	31.00	34.60	38.79
41	25.24	28.23	29.89	31.92	35.58	39.86
42	26.04	29.09	30.77	32.84	36.57	40.94
43	26.84	29.94	31.66	33.76	37.57	42.01
44	27.64	30.80	32.54	34.68	38.56	43.09
45	28.45	31.66	33.43	35.61	39.55	44.17
46	29.26	32.52	34.32	36.53	40.55	45.24
47	30.07	33.38	35.22	37.46	41.54	46.32
48	30.88	34.25	36.11	38.39	42.54	47.40
49	31.69	35.11	37.00	39.32	43.53	48.48
50	32.51	35.98	37.90	40.26	44.53	49.56
51	33.33	36.85	38.80	41.19	45.53	50.64
52	34.15	37.72	39.70	42.12	46.53	51.73
53	34.98	38.60	40.60	43.06	47.53	52.81
54	35.80	39.47	41.51	44.00	48.54	53.89

Таблица П. (продолжение)

Число каналов N_t	Вероятность блокировки $P_{бл}$, %					
	0.1	0.5	1.0	2	5	10
	График (Эрланг)					
55	36.63	40.35	42.41	44.94	49.54	54.98
56	37.46	41.23	43.32	45.88	50.54	56.06
57	38.29	42.11	44.22	46.82	51.55	57.14
58	39.12	42.99	45.13	47.76	52.55	58.23
59	39.96	43.87	46.04	48.70	53.56	59.32
60	40.80	44.76	46.95	49.64	54.57	60.40
61	41.63	45.64	47.86	50.59	55.57	61.49
62	42.47	46.53	48.77	51.53	56.58	62.58
63	43.31	47.42	49.69	52.48	57.59	63.66
64	44.16	48.31	50.60	53.43	58.60	64.75
65	45.00	49.20	51.52	52.38	59.61	65.84
66	45.85	50.09	52.44	55.33	60.62	66.93
67	46.69	50.98	53.35	56.28	61.63	68.02
68	47.54	51.87	54.27	57.23	62.64	69.11
69	48.39	52.77	55.19	58.18	63.65	70.20
70	49.24	53.66	56.11	59.13	64.67	71.29
71	50.09	54.56	57.03	60.08	65.68	72.38
72	50.94	55.46	57.96	61.04	66.69	73.47
73	51.80	56.35	58.88	61.99	67.71	74.56
74	52.65	57.25	59.80	62.95	68.72	75.65
75	53.51	58.15	60.73	63.90	69.74	76.74
76	54.37	59.05	61.65	64.86	70.75	77.83
77	55.23	59.96	62.58	65.81	71.77	78.93
78	56.09	60.86	63.51	66.77	72.79	80.02
79	56.95	61.76	64.43	67.73	73.80	81.11
80	57.81	62.67	65.36	68.69	74.82	82.20
81	58.67	63.57	66.29	69.65	75.84	83.30
82	59.54	64.48	67.22	70.61	76.86	84.39
83	60.40	65.39	68.15	71.57	77.87	85.48

Таблица П. (продолжение)

Число каналов N_t	Вероятность блокировки $P_{бл}$, %					
	0.1	0.5	1.0	2	5	10
	Трафик (Эрланг)					
84	61.27	66.29	69.08	72.53	78.89	86.58
85	62.14	67.20	70.02	73.49	79.91	87.67
86	63.00	68.11	70.95	74.45	80.93	88.77
87	63.87	69.02	71.88	75.42	81.95	89.86
88	64.74	69.93	72.82	76.38	82.97	90.96
89	65.61	70.84	73.75	77.34	83.99	92.05
90	66.48	71.76	74.68	78.31	85.01	93.15
91	67.36	72.67	75.62	79.27	86.04	92.24
92	68.23	73.58	76.56	80.24	87.06	95.34
93	69.10	74.50	77.49	81.20	88.08	96.43
94	69.98	75.41	78.43	82.17	89.10	97.53
95	70.85	76.33	79.37	83.13	90.12	98.63
96	71.73	77.24	80.31	84.10	91.15	99.72
97	72.61	78.16	81.25	85.07	92.17	100.8
98	73.48	79.07	82.18	86.04	93.19	101.9
99	74.36	79.99	83.12	87.00	94.22	103.0
100	75.24	80.91	84.06	87.97	95.24	104.1