

ФГБОУ ВО СибГУТИ

# Частотное планирование сети подвижной радиосвязи

Методические указания к контрольной  
работе по дисциплине «Теоретические  
основы современных технологий  
беспроводной связи»

**Разработал:** доцент кафедры СМС,  
к.т.н. Е.В. Кокорева

Новосибирск  
2018

# Оглавление

Введение.....	2
Теоретическое описание.....	3
Пример частотного планирования.....	7
Варианты задания.....	9
Литература: .....	10

# Введение

Контрольная работа выполняется с использованием пакета математических и инженерных расчётов (Mathcad 14 или Mathcad 15, SMath Studio, Matlab).

Вариант задания выбирается по формуле:

$$N = (x \bmod 30) + 1,$$

где  $x$  – число, образованное двумя последними цифрами зачётной книжки,  $\bmod$  – операция взятия остатка от деления.

В качестве результатов выполнения контрольной работы необходимо представить преподавателю:

- файл с математическими расчётами и результатами в одном из форматов .mcd, .xmcd (Mathcad), .sm (SMath Studio) или .m (Matlab);
- отчёт в формате .doc (.docx, .rtf) или .pdf, содержащий:
  - титульный лист,
  - оглавление (с нумерацией страниц),
  - задание по варианту,
  - краткое теоретическое описание системы мобильной связи (стандарта, заданного по варианту). **Копия раздела «Теоретическое описание» из методических указаний приниматься не будет,**
  - расчёт всех параметров сети со ссылками на формулы,
  - результаты расчёта с комментариями,
  - обоснование выбора оптимального частотного плана,
  - вывод по проделанной работе.

## Теоретическое описание

Для составления полного частотного плана сети подвижной радиосвязи (СПРС), т.е. плана внедрения конкретных номиналов частот для каждой из базовых станций (БС), установленных на территории города, необходимо предварительно определить основные параметры этого плана. К этим параметрам относятся:

1.  $N$  размерность кластера, шт;
2.  $M$  количество секторов обслуживания в одной соте:  
 $M = 1$ , при  $\theta = 360^\circ$ ;  
 $M = 3$ , при  $\theta = 120^\circ$ ;  
 $M = 6$ , при  $\theta = 60^\circ$ .  
где  $\theta$  – ширина диаграмм направленности антенн БС;
3.  $K$  количество БС, которые необходимо установить на территории города, шт;
4.  $R_0$  радиус одной соты, км;
5.  $P_{BS}$  мощность передатчика БС, дБВт или Вт;
6.  $H_{BS}$  высота подвеса антенны БС, м;

Перечисленные параметры можно определить, если известны следующие данные:

7.  $F$  полоса частот, выделенная для передачи сигналов БС данной сотовой сети, МГц (кГц);
8.  $F_K$  полоса частот, занимаемая одним частотным каналом данного стандарта, МГц (кГц);
9.  $n_\alpha$  количество абонентов, которые одновременно могут использовать один частотный канал (например, для GSM – это 8);
10.  $N_\alpha$  количество абонентов, которое должна обслуживать данная сотовая сеть;
11.  $\beta$  активность одного абонента в час наибольшей нагрузки, Эрл;
12.  $P_b$  допустимая вероятность блокировки вызова СПРС;
13.  $\rho_0$  необходимое защитное отношение сигнал/помеха для приемников СПР, дБ;
14.  $P_T$  процент времени, в течение которого допускается, чтобы отношение сигнал/помеха на входе приемника в СПРС было меньше защитного  $\rho_0$ , %;
15.  $S$  площадь города, в котором развернута СПРС,  $km^2$ ;
16.  $\sigma$  параметр, определяющий диапазон случайных флуктуаций уровня принимаемого сигнала в месте приема ( $\sigma = 4 \div 10$  дБ);
17.  $P_{MS}$  чувствительность приемника МС, дБВт;
18.  $G_{BS}$  коэффициент усиления антенны БС, дБ.

**Примечание 1:** высота антенны МС принимается равной  $h_{MS}=1.5$  м.

Процедура определения основных параметров частотного плана для СПРС состоит в следующем:

1. Определяется общее число частотных каналов, выделяемых для развертывания сотовой сети в данном городе:

$$n_k = \left[ \frac{F}{F_k} \right]; \quad (1)$$

квадратные скобки в выражении 1 означают взятие целой части от выражения в скобках (в последующих формулах используется такое же обозначение).

2. Определяется необходимая размерность кластера при заданных значениях  $\rho_0$  и  $P_T$ . При этом используется соотношение:

$$P(N) = \frac{100\%}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{(10\lg(1/\beta_e) - \rho_0)}{\sigma_\rho}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (2)$$

где  $P(N)$  – процент времени, в течение которого отношение сигнал/помеха на входе приемника МС ниже защитного  $\rho_0$ , как правило,  $N = 3, 4, 7, 9$ . Величины  $\beta_e$  и  $\sigma_\rho$  определяются выражениями 3-9:

$$\beta_e = \left( \sum_{i=1}^l \beta_i \right) \exp \left( \frac{\gamma^2}{2} (\sigma^2 - \sigma_e^2) \right) \quad (3)$$

где  $\gamma = 0.1 \cdot \ln 10 = 0.23$ ,  $\sigma = 4 \div 10$  дБ [7] для условий городской застройки,  $\sigma_e^2$  (дисперсия логнормально распределённой случайной величины помехи на входе приёмника) [8]:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left( 1 + \left( e^{\gamma^2 \sigma^2} - 1 \right) \frac{\sum_{i=1}^l \beta_i^2}{\left( \sum_{i=1}^l \beta_i \right)^2} \right) \quad (4)$$

Значения  $l$  (количество «мешающих» базовых станций, расположенных в соседних кластерах) и  $\beta_i$  (величина, обратная отношению мощности сигнала к мощности помех, создаваемых  $i$ -й «мешающей» станцией [1, 4]) зависят от вида диаграмм направленности антенн на БС (ненаправленных либо секторных):

Если

$$M = 1, \text{ то } l = 6 \text{ и } \beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4}; \quad \beta_3 = \beta_4 = q^{-4}; \quad \beta_5 = \beta_6 = (q+1)^{-4}. \quad (5)$$

Если

$$M = 3, \text{ то } l = 2 \text{ и } \beta_1 = (q+0.7)^{-4}; \quad \beta_2 = q^{-4}. \quad (6)$$

Если

$$M = 6, \text{ то } l = 1 \text{ и } \beta_1 = (q+1)^{-4}. \quad (7)$$

Здесь  $q$  - коэффициент соканального повторения определяется выражением:

$$q = \frac{D}{R_0} = \sqrt{3N}, \quad (8)$$

а  $\sigma_\rho^2$  (дисперсия распределения случайной величины отношение сигнал/помеха на входе приёмника):

$$\sigma_\rho^2 = \sigma^2 + \sigma_e^2. \quad (9)$$

Значение  $N$ , при котором выполняется условие:

$$P(N) \leq P_T, \quad (10)$$

принимается за размерность кластера СПР.

**Примечание 2:** Повторять п.2, формулы 2-9 для разных значений  $N$  до тех пор, пока не будет выполнено условие 10.

3. Определяется количество частотных каналов, которое используется для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$n_s = \left[ \frac{n_k}{M \cdot N} \right]. \quad (11)$$

4. Определяется допустимая телефонная нагрузка в одном секторе одной соты (Эрланг):

$$A = \begin{cases} n_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \left( P_b \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right), & P_b \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} \\ n_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2} + 2n_0 \ln \left( P_b \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)} - \sqrt{\frac{\pi}{2}}, & P_b > \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} \end{cases}, \quad (12)$$

где  $n_0 = n_s \cdot n_\alpha$ . Выражение 12 получено из формулы Эрланга [1].

5. Определяется количество абонентов, которое обслуживается одной БС при заданном значении вероятности блокировки:

$$N_{BS} = M \left[ \frac{A}{\beta} \right]. \quad (13)$$

6. Определяется количество БС в сотовой сети:

$$K = \left[ \frac{N_\alpha}{N_{BS}} \right] + 1. \quad (14)$$

7. Определяется радиус одной соты:

$$R_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi K}}. \quad (15)$$

8. Определяется  $P_{BS}$  при  $H_{BS} = const$ , либо  $H_{BS}$  при  $P_{BS} = const$ . Для этого используется выражение [4]:

$$P_{MS} = P_{BS} + G_{BS} - 69,55 - 26,16 \cdot \lg(f_{MГц}) + 13,82 \cdot \lg(H_{BS}) + a(h_{MS}) - (44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{BS})) \cdot \lg R_0, \text{ дБВт} \quad (16)$$

где  $f$  – несущая частота в МГц,  $a(h_{MS})$  – поправочный коэффициент для высоты антенны МС, зависящий от типа местности (дБ):

- для малых и средних городов:

$$a(h_{MS}) = (1,1 \lg f - 0,7) h_{MS} - (1,56 \lg f - 0,8); \quad (17)$$

- для крупного города:

$$a(h_{MS}) = 8,29 (\lg(1,54 h_{MS}))^2 - 1,1 \quad \text{для } f \leq 400; \quad (18)$$

$$a(h_{MS}) = 3,2 (\lg(11,75 h_{MS}))^2 - 4,97 \quad \text{для } f \geq 400. \quad (19)$$

9. Повторить выполнение пп. 2-8 для другого значения  $N$  (3, 4, 7, 9).

10. Выбрать из двух полученных результатов оптимальный. Критериями оптимальности считать минимум мощности передатчика базовой станции, максимальное число обслуживаемых абонентов или минимальное число базовых станций в сети.

11. В качестве результатов представить параметры оптимального частотного плана, полученные в пп. 1-8.

12. Сделать выводы по проделанной работе.

13. Оформить отчёт по контрольной работе.

Таким образом, изложенная процедура позволяет найти все требуемые параметры частотного плана сотовой сети. При составлении полного частотного плана необходимо, зная количество частотных каналов, приходящихся на каждую БС и конфигурацию кластера, используемого для построения сотовой сети, определить конкретные номиналы частот, которые выделяются для работы всех БС, принадлежащих одному кластеру. При этом должны быть сведены к минимуму помехи между сотами, в которых используются соседние частотные каналы, а также интермодуляционные помехи между частотными каналами, используемыми в одном секторе соты.

Для составления полного частотного плана могут быть использованы методы, описанные в [5], [6].

# Пример частотного планирования

Исходные данные:

Рассмотрим GSM систему, со следующими параметрами:

$F = 7.2$  МГц;  $\beta = 0.025$  Эрл;  $P_b = 0.01$ ;  $\sigma = 6$  дБ;  $S = 706.8$  км<sup>2</sup>;  $N_\alpha = 60000$ ;  $H_{BS} = 25$  м;  
 $G_{BS} = 12$  дБ.  $\rho_0 = 9$  дБ;  $F_k = 0.2$  МГц;  $P_{MS} = -132$  дБВт;  $n_\alpha = 8$ ;  $f = 900$  МГц.

Определить параметры сотовой сети для данного города и мощность передатчика базовой станции  $P_{BS}$ , необходимую для обеспечения заданного качества связи.

1. Находим общее число частотных каналов планируемой сети по формуле 1:

$$n_k = \left[ \frac{7.2}{0.2} \right] = 36.$$

2. По формулам 2-9 определяем необходимые значения  $M$  и  $N$  для обеспечения требуемого отношения сигнал/помеха на выходе приёмной антенны. Для этого последовательно вычисляем:

Для  $N = 3$

- а) коэффициент соканального повторения (формула 8):

$$q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3;$$

- б) коэффициенты  $\beta_i$  (формулы 5-7)

$$M = 1, l = 6:$$

$$\beta_1 = \beta_2 = (3-1)^{-4} = 0.063; \quad \beta_3 = \beta_4 = 3^{-4} = 0.012; \quad \beta_5 = \beta_6 = (3+1)^{-4} = 3.9 \cdot 10^{-3};$$

$$M = 3, l = 2:$$

$$\beta_1 = (3+0.7)^{-4} = 5.3 \cdot 10^{-3}; \quad \beta_2 = 3^{-4} = 0.012;$$

$$M = 6, l = 1:$$

$$\beta_1 = (3+1)^{-4} = 3.9 \cdot 10^{-3};$$

- в) дисперсию (формула 4)

$$\text{При } M = 1 \quad \sigma_e^2 = 19.978;$$

$$M = 3 \quad \sigma_e^2 = 27.603;$$

$$M = 6 \quad \sigma_e^2 = 36.000;$$

- г)  $\beta_e$  (формула 3)

$$\text{При } M = 1 \quad \beta_e = 0.241;$$

$$M = 3 \quad \beta_e = 0.022;$$

$$M = 6 \quad \beta_e = 0.004;$$

**Примечание 3:** В формулах 3-4 значение  $\gamma = 0.1 \cdot \ln 10 = 0.23$ .

- д) дисперсию отношение сигнал/помеха (формула 9)



$$\text{При } M = 1 \quad \sigma_{\rho} = \sqrt{36 + 19.978} = 7.482;$$

$$M = 3 \quad \sigma_{\rho} = \sqrt{36 + 27.603} = 7.975;$$

$$M = 6 \quad \sigma_{\rho} = \sqrt{36 + 36} = 8.485;$$

е)  $P(N)$  (формула 2)

$$\text{При } M = 1 \quad P(3) = 64.655;$$

$$M = 3 \quad P(3) = 17.157;$$

$$M = 6 \quad P(3) = 3.774.$$

По результатам вычислений 2-е мы видим, что условие  $P(N) \leq P_T$  достигается при  $N = 3$  и  $M = 6$  ( $3.774\% < 10\%$ ). Эти значения принимаем в качестве параметров сети для дальнейшего частотного планирования.

3. По формуле 11 определяем количество частотных каналов, которое используется для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$n_s = 2.$$

4. Определяем допустимую телефонную нагрузку в одном секторе одной соты по формуле 12:

$$A = 9.391 \text{ Эрл при } P_b = 0.01, n_0 = 16.$$

5. Определяем количество абонентов, которое обслуживается одной БС при заданном значении вероятности блокировки по формуле 13:

$$N_{BS} = 2250.$$

6. По формуле 14 определяем количество БС в сотовой сети:

$$K = 27.$$

7. По формуле 15 определяем радиус соты:

$$R_0 = 2.887.$$

8. По формуле 16 с помощью формул 17-19 определяем  $P_{BS}$  и преобразуем из дБВт в Вт:

$$P_{BS} \approx 1 \text{ Вт.}$$

Таким образом, характеристики, полученные при выполнении 1, 2-е, 3-8 являются результатами выполнения контрольной работы.

Параметр	$n_k$	$N$	$M$	$P(N)$	$n_s$	$A$	$N_{BS}$	$K$	$R_0$	$P_{BS}$
ед. изм.	шт.	шт.	шт.	%	шт.	Эрл	шт.	шт.	км	Вт
Значение	36	3	6	3.774	2	12.712	2250	27	2.887	0.995

Повторяем вычисления для  $N = 4$  и соответствующего этому значения  $M = 3$  (из формулы 2 и условия 10). Выбираем из двух полученных результатов наиболее подходящий. Обосновываем выбор.

В данном примере при почти одинаковой мощности передатчика  $P_{BS} \approx 1$  Вт необходимое количество базовых станций оказалось меньше (больше радиус обслуживания и количество абонентов в соте), поэтому остановились на втором варианте.

**Примечание 3:** При выполнении расчётов рекомендуется использовать системы математических расчётов (Mathcad, Matlab и т.п.).

## Варианты задания

Вариант	Стандарт	$f$ МГц	$F$ МГц	$P_T$ %	$P_b$	$N_\alpha$ тыс.	$G_{BS}$ дБ	$P_{MS}$ дБВт	$S$ км <sup>2</sup>	$H_{BS}$ м
1	NMT	450	2.5	10	0.01	100	8	-103	450	30
2	GSM	900	7.5	5	0.02	200	10	-96	100	25
3	AMPS	800	10.0	15	0.03	70	12	-105	200	45
4	GSM	1800	5.5	10	0.04	150	2	-93	143	70
5	D-AMPS	800	10.2	20	0.05	60	14	-108	306	40
6	JDC	900	8.0	15	0.01	100	3	-110	270	34
7	GSM	1800	12.5	10	0.02	120	6	-95	370	30
8	D-AMPS	1900	9.0	10	0.03	80	9	-89	130	25
9	NMT	450	3.0	8	0.04	50	12	-102	235	20
10	TACS	900	12.5	5	0.05	45	10	-100	136	43
11	NTT	900	7.2	10	0.01	30	7	-94	100	15
12	GSM	850	8.4	15	0.02	45	4	-99	220	36
13	AMPS	1900	10	20	0.03	50	5	-103	250	23
14	JDC	1500	4.5	20	0.04	120	8	-102	430	23
15	AMPS	800	4.5	10	0.05	130	6	-104	400	16
16	D-AMPS	800	1.5	15	0.01	200	8	-111	150	34
17	GSM	900	9.0	5	0.02	340	9	-93	290	23
18	D-AMPS	1900	7.5	5	0.03	40	11	-96	120	14
19	JDC	1500	2.0	10	0.04	60	12	-103	305	37
20	TACS	900	5.0	15	0.05	75	9	-97	300	38
21	GSM	1900	6.4	15	0.01	85	7	-104	310	31
22	NTT	800	5.0	15	0.02	90	3	-102	401	29
23	JDC	900	8.0	10	0.03	65	5	-101	259	37
24	AMPS	800	4.8	20	0.04	35	4	-109	101	40
25	D-AMPS	800	5.1	5	0.05	70	6	-105	202	19
26	GSM	1800	8.0	5	0.01	100	8	-106	380	24
27	NTT	900	3.0	5	0.02	180	13	-92	403	38
28	TACS	900	6.0	10	0.03	65	14	-98	276	28
29	ETACS	900	8.8	10	0.04	75	16	-107	230	33
30	JDC	1500	12.2	20	0.05	80	2	-99	301	12

**Примечание 4:** значения параметров, не заданные в таблице, принимаются типичными для заданного по варианту стандарта сотовой связи. К ним относятся:  $F_K$ ;  $n_\alpha$ ;  $\rho_0$ . Их значения необходимо взять из соответствующей литературы (например, [10]).

**Примечание 5:** значение параметра  $\beta = 0.025$  Эрл для всех вариантов.

**Примечание 6:** значение параметра  $\sigma$  выбрать из диапазона  $4 \div 10$  дБ по своему усмотрению.

## Литература:

1. W.C.Y. Lee mobile cellular telecommunication systems. Howard W.Sams and Co., 1989.
2. Системы радиотелефонной связи с подвижными объектами (обзор). Зарубежная техника связи. Экспресс-информация ЦНТИ "Информсвязь" вып. 8-9, 1988г., с.1-39.
3. M.R.L. Hodges. The GSM radio interface.Br Telecom Technol J. v.8, №1, 1990, p.31-43.
4. Masaharu Hata. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. IEEE Tr. VT-29, №3, 1980, p.317-325.
5. A. Gamst. Homogeneous distribution of frequencies in a regular hexagonal cell system. IEEE Tr. VT-31, №3, 1982, p.132-144.
6. W.K. Hale. New spectrum management tools. Proc. Int. Symp. on EMC, 1981, p.47-53.
7. V.Palestini, V.Zingarelli. Outage probability in cellular mobile radio systems. Alta Frequenza, №2, 1988, p.97-108.
8. L.F.Fenton. The sum of lognormal probability distributions in scatter transmission systems. IRE Tr. CS-8, №1, 1960, p.57-67.
9. Быховский М.А. Частотное планирование сотовых сетей подвижной связи. [www.bykhmark.ru/rus/stati/Chastot\\_plan\\_sot\\_SPS.doc](http://www.bykhmark.ru/rus/stati/Chastot_plan_sot_SPS.doc)
10. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 300 с.