

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 08.08.2023 16:46:47

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c1eedc7e529476111851f6a51d099

## **МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 8 » 08

2023 г.



## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов направления подготовки

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Курск 2023

УДК 621.3.095

Составители: А. Е. Севрюков

Рецензент

Доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор кафедры космического приборостроения и систем связи  
*А. А. Гуламов*

**Проектирование транспортных систем и сетей радиосвязи:**  
методические указания по выполнению лабораторных работ для  
студентов направления подготовки 11.04.02  
Инфокоммуникационные технологии и системы связи / Юго-Зап. гос.  
ун-т; сост. А. Е. Севрюков. – Курск, 2023. – 32 с.

Методические указания содержат теоретический материал, практические указания и индивидуальные задания необходимые для выполнения лабораторных работ.

Полученные знания в результате выполнения лабораторной работы дадут возможность углубить компетенции понимания принципов проектирования и эксплуатации систем инфокоммуникаций, организации эксплуатации оборудования, проведению измерений, проверки качества работы, проведения расчетов по проектированию сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (очной и заочной форм обучения) при изучении дисциплины «Проектирование транспортных систем и сетей радиосвязи».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 08.08.23. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л.1,68. Тираж 100 экз. Заказ 757. Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Лабораторная работа №1

### ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОКАНАЛОВ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

**Цель работы:** освоение принципов частотно-территориального планирования сетей подвижной связи, оценки зоны обслуживания абонентов в системе транкинговой связи стандарта TETRA.

Методические указания помогут студентам в приобретении навыков решения задач исследований распространения радиоволн в реальных условиях. Процесс оценки зоны обслуживания состоит из нескольких этапов.

На первом этапе определяется мощность сигнала, излучаемая в эфир. На втором - средняя мощность сигнала на приемной антенне, при которой обеспечивается заданная чувствительность приемника. По результатам этих этапов определяется допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала. На третьем этапе выбирается модель расчета потерь на трассе и на ее основе строится зависимость потерь от расстояния. По данному графику определяется средняя дальность радиосвязи с учетом запаса на обеспеченность связью по месту и времени.

Табл. 1. Выбора исходных данных

Последние две цифры номера зач. книжки	Класс БС	Тип абонентской станции	Класс АС	Тип местности
01, 51	2	Мобильная	1	Город
02, 52	4	Мобильная	4	Откр.пр
03, 53	8	Носимая	1	Сельск.
04, 54	6	Мобильная	2	Откр.пр
05, 55	3	Носимая	2	Город
06, 56	2	Носимая	2	Сельск.
07, 57	1	Носимая	1	Город
08, 58	5	Мобильная	3	Город
09, 59	6	Мобильная	4	Сельск.
10, 60	3	Носимая	2	Город
11, 61	2	Мобильная	1	Откр.пр
12, 62	4	Носимая	1	Сельск.
13, 63	9	Мобильная	3	Город
14, 64	10	Носимая	1	Откр.пр
15, 65	3	Мобильная	2	Город
16, 66	2	Носимая	2	Город
17, 67	4	Носимая	2	Откр.пр
18, 68	8	Мобильная	4	Город
19, 69	6	Носимая	1	Сельск.

20, 70	3	Мобильная	4	Город
21, 71	2	Мобильная	1	Город
22, 72	9	Носимая	2	Сельск.
23, 73	8	Мобильная	2	Откр.пр
24, 74	10	Мобильная	3	Сельск.
25, 75	3	Носимая	2	Город
26, 76	2	Носимая	1	Откр.пр
27, 77	4	Носимая	1	Город
28, 78	5	Мобильная	2	Сельск.
29, 79	1	Мобильная	4	Город
30, 80	9	Мобильная	1	Сельск.
31, 81	2	Носимая	1	Город
32, 82	4	Мобильная	3	Откр.пр
33, 83	8	Носимая	2	Город
34, 84	10	Носимая	2	Город
35, 85	3	Носимая	1	Сельск.
36, 86	2	Мобильная	3	Откр.пр
37, 87	4	Мобильная	2	Город
38, 88	8	Носимая	1	Сельск.
39, 89	7	Мобильная	4	Сельск.
40, 90	5	Носимая	2	Город
41, 91	2	Носимая	1	Город
42, 92	4	Носимая	1	Откр.пр
43, 93	9	Мобильная	1	Город
44, 94	1	Носимая	2	Город
45, 95	10	Мобильная	4	Откр.пр
46, 96	2	Мобильная	2	Сельск.
47, 97	4	Мобильная	3	Город
48, 98	8	Носимая	2	Город
49, 99	9	Мобильная	2	Сельск.
50, 00	5	Носимая	1	Город

Табл. 2. Выбора исходных данных

Последние две цифры номера зач. книжки	Высота установки антенны БС	Высота установки антенны АС	Несущая частота сигнала
01, 51	30	1	410
02, 52	100	2	430
03, 53	30	1,5	470
04, 54	50	2	380
05, 55	50	2	450
06, 56	30	1	390
07, 57	50	2	870
08, 58	100	1,5	915
09, 59	50	1	875
10, 60	50	1,5	920
11, 61	30	1	430
12, 62	50	2	470
13, 63	100	1,5	380
14, 64	100	1	915
15, 65	50	1,5	875

16, 66	50	1,5	410
17, 67	30	2	430
18, 68	50	2	875
19, 69	30	1	410
20, 70	30	2	470
21, 71	100	1,5	380
22, 72	50	1	915
23, 73	30	2	875
24, 74	50	1,5	410
25, 75	30	1	430
26, 76	50	1	430
27, 77	30	1,5	470
28, 78	50	2	380
29, 79	100	2	450
30, 80	100	1,5	390
31, 81	30	2	450
32, 82	50	2	390
33, 83	100	1	870
34, 84	50	2	915
35, 85	50	1,5	875
36, 86	30	1,5	410
37, 87	30	2	430
38, 88	50	2	470
39, 89	100	1	380
40, 90	50	2	450
41, 91	100	1,5	390
42, 92	30	1	870
43, 93	50	1,5	915
44, 94	100	1,5	875
45, 95	50	1	920
46, 96	100	1,5	470
47, 97	30	1,5	380
48, 98	50	2	450
49, 99	50	2	390
50, 00	30	1,5	915

Излучаемая мощность сигнала

$$P_{\text{изл}} = P_S + G_A + B_C \text{ [дБ]}, \quad (1)$$

где  $P_S$  – мощность передатчика;

$G_A$  – коэффициент усиления антенны;

$B_C$  – коэффициент передачи фидера и других цепей между передатчиком и антенной.

Необходимая мощность сигнала на приемной антенне:

$$P_A = P_{\text{ПР}} - G_{\text{ПА}} - B_{\text{ПС}} + \Delta_c \text{ [дБ]}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{пр}}$  – чувствительность приемника;

$G_{\text{ПА}}$  – коэффициент усиления приемной антенны;

$V_{\text{ПС}}$  – коэффициент передачи фидера и других цепей между антенной и приемником;

$C$  – коэффициент обеспеченности связью по месту и времени. Данный коэффициент вносит поправку для обеспечения с заданной вероятностью превышения мощности сигнала на входе антенны относительно среднего значения. Значение коэффициента определяется многими факторами, в том числе характером распространения радиоволн, плотностью застройки территории, требующей обеспечения связью. Например, при  $\Delta_c=0\text{дБ}$  мощность сигнала на входе приемника будет превышать заданный уровень в 50% случаев приема, при  $\Delta_c=10\text{дБ}$  – в 90%.

Допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала:

$$L_{\text{д}} = P_{\text{изл}} - P_{\text{А}} = P_{\text{С}} + G_{\text{А}} + V_{\text{С}} - P_{\text{пр}} + G_{\text{ПА}} + V_{\text{ПС}} - \Delta_c \text{ [дБ]} \quad (3)$$

Методика оценки  $L_{\text{д}}$ , предлагаемая стандартом TETRA, основана на модели Хата, которая позволяет прогнозировать усредненные потери при распространении радиосигнала в открытом пространстве, сельской местности и в городе. Исходными данными для оценки потерь служат:

- $h_b$  – высота установки антенны базовой станции;
- $h_m$  – высота установки антенны мобильной станции;
- $f_c$  – несущая частота сигнала.

Коэффициент потерь в свободном пространстве определяется выражением:

$$L_{\text{оА}} = 27,81 + 27,72 \lg(f_c) - 13,82 \lg(h_b) - (1,1 \lg(f_c) - 0,7)h_m + \\ + (44,9 - 6,55 \lg(h_d)) \lg(R) - 4,78(\lg(f_c))^2 \text{ [дБ];} \quad (4)$$

где  $R$  – расстояние от передатчика до точки оценки потерь.

В соответствии с методикой Хата коэффициент потерь при распространении сигнала в сельской местности

$$L_{\text{РА}} = L_{\text{оА}} + 10 \text{ [дБ]},$$

а при распространении сигнала в городе

$$L_{\text{оА}} = 63,35 + 27,72 \lg(f_c) - 13,82 \lg(h_b) - (1,1 \lg(f_c) - 0,7)h_m + \\ + (44,9 - 6,55 \lg(h_d)) \lg(R) - 2(\lg(f_c / 28))^2 \text{ [дБ].} \quad (5)$$

Например, при  $h_m=1,5$  м,  $f_c=400$  МГц, и трех значениях  $h_m=30; 50; 100$  м на рис. 1 и рис. 2 построены графики зависимости  $L_{OA}=f(R)$  для сельских и городских условий распространения радиоволн.

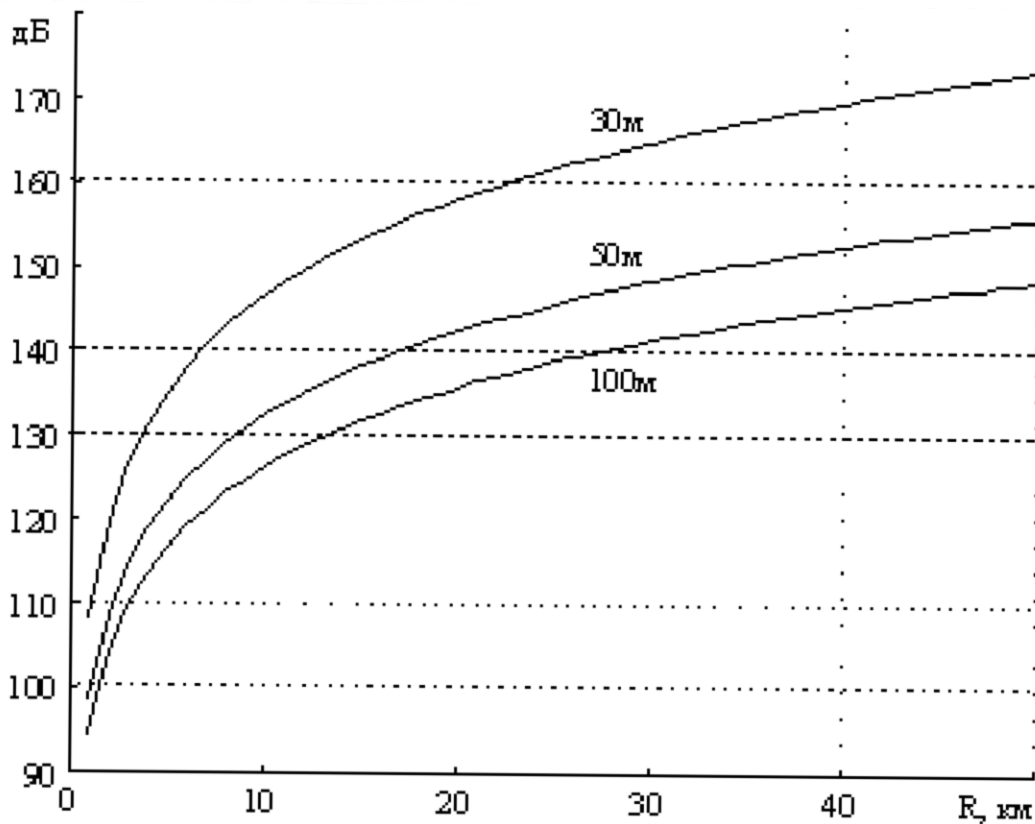


Рис. 1. График зависимости  $L_{OA}=f(R)$  для сельских условий.

В соответствии с приведенной методикой оценим дальности связи для сельских и городских условий распространения сигнала при исходных данных, представленных в таблице 10.

Поскольку, как правило, энергетический потенциал радиолинии сверху вниз (от базовой станции к подвижным абонентам) выше, чем в обратном направлении, то оценку дальности связи будем проводить для направлений подвижный абонент - базовая станция при динамических условиях распространения сигнала.

Для каждого варианта с учетом условий распространения сигнала подставим соответствующие значения в (3) или (4). Затем по графикам на рис. 1, рис. 2 найдем дальности связи. Результаты для двух значений обеспеченностью связью по месту 50% и 90% представить в таблице 3.

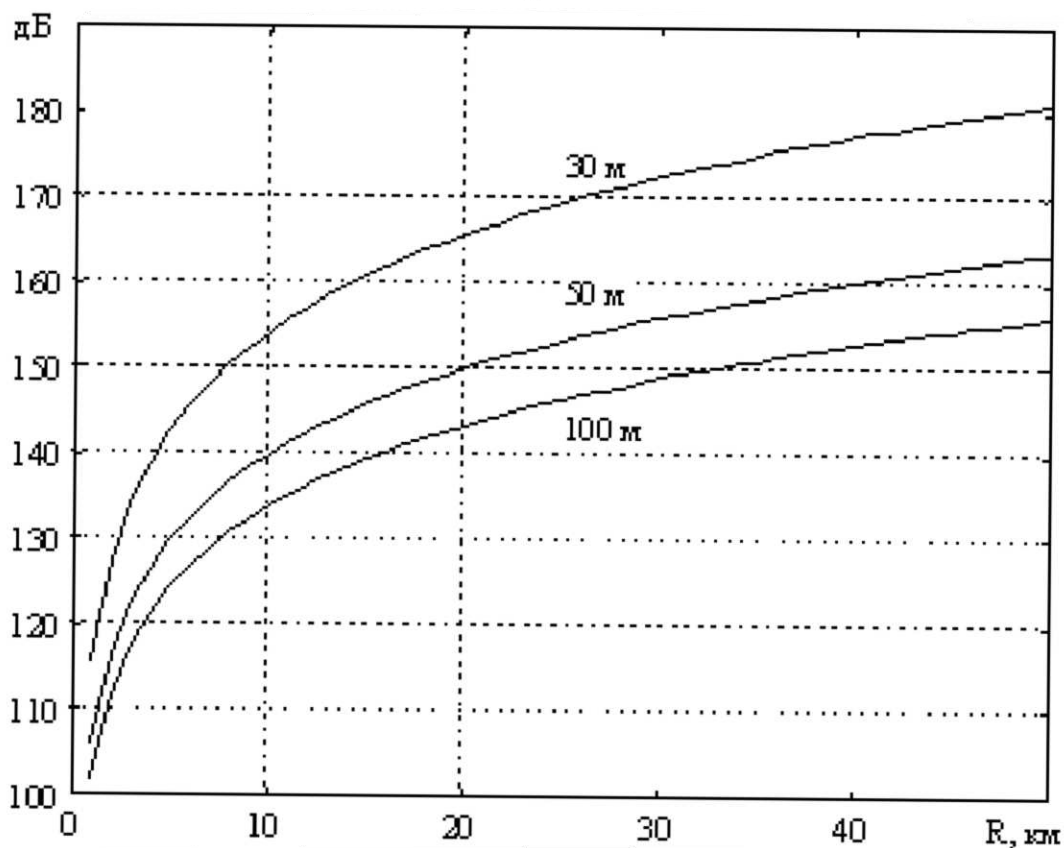


Рис. 2. График зависимости  $L_{OA}=f(R)$  для городских условий.

Процент обеспеченности связью, показанный в таблице, обеспечивается на границе зоны обслуживания, внутри области обслуживания обеспеченность будет составлять 75% и 95% соответственно.

Следует отметить, что представленные дальности связи ограничиваются чувствительностью приемника базовой станции по шумам, что характерно для систем без повторного использования радиочастот.

Табл. 3

Параметр	Базовая станция	Мобильная станция	Носимая станция
Мощность передатчика, дБм	44	40	30
Коэффициент передачи фидера, дБм	-6	-2	0
Коэффициент усиления антенны, дБм	8	2	-4
Чувствительность приемника динамические условия, дБм	-106	-103	-103
Высота установки антенны, м	50	1,5	1,5
Несущая частота, МГц	400		



Табл. 4

Направление связи	Мобильная станция - базовая станция		Носимая станция - базовая станция	
	50%	90%	50%	90%
Процент обеспеченности связью	50%	90%	50%	90%
Дальность связи в сельской местности, динамические условия, км				
Дальность связи в городе, динамические условия, км				

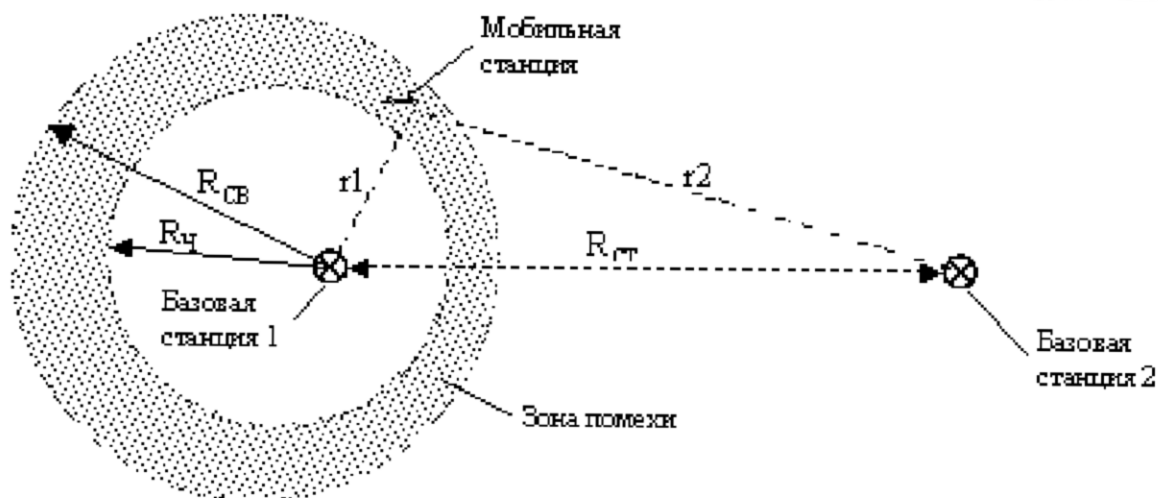


Рис. 3. Радиус связи при помехе от совмещенного канала.

При построении многозоновых систем с повторным использованием радиочастот чувствительность, как правило, ограничивается уровнем помехи по совмещенному каналу связи, что характерно для сотовых систем. На рис. 3 показана ситуация возникновения помехи по совмещенному каналу, когда имеются две базовые станции, работающие на одном канале, где  $R_{CB}$  - радиус связи при ограничении по чувствительности приемника,  $R_{П}$  - радиус связи при ограничении по помехе от совмещенного канала

Если на входе приемника мобильной станции действует сумма полезного сигнала и помехи от базовых станций 1 и 2 соответственно, то при отношении уровней сигналов  $E1/E2 < 19$  дБ в приемнике наблюдается помеха по совмещенному каналу. Географическая область действия помехи зависит от соотношения расстояний  $r1$ ,  $r2$  и условий распространения радиосигнала. При разработке частотно-территориального плана многозоновой системы с повторным использованием радиоканалов важным является обеспечение уровня помех по совмещенному каналу в пределах заданного значения. Это требование может быть выполнено при размещении базовых станций с

повторным использованием каналов на определенном расстоянии ( $R_{ст}$ ) друг от друга. В таблице 5 представлены относительные расстояния ( $R_{ст}/R_{п}$ ) при допустимых вероятностях помех 5% и 10% для различных значений флуктуаций сигнала на входе приемника. Эти данные могут быть использованы как ориентировочные при предварительном проектировании системы.

Табл. 5

Флуктуации поля	Вероятность помехи по совмещенному каналу	
	5%	10%
6 дБ	7,7	6,6
8 дБ	9,7	7,9
10 дБ	12,4	9,5

### Мощность передатчика

Стандартные мощности передатчиков базовой и подвижной станции для всех классов приведены в таблице 6.

Табл. 6

Класс станции	Мощность					
	Базовая станция		Мобильная станция		Носимая станция	
	Вт	дБм	Вт	дБм	Вт	дБм
1	40	46	30	45	3	35
2	25	44	10	40	1	30
3	15	42	3	35	-	-
4	10	40	1	30	-	-
5	6,3	38	-	-	-	-
6	4	36	-	-	-	-
7	2,5	34	-	-	-	-
8	1,6	32	-	-	-	-
9	1	30	-	-	-	-
10	0,6	28	-	-	-	-

### Чувствительности приемника радиостанции

Чувствительность базовой и мобильной радиостанции для речевого канала (ТСН/S) (см. таблицу 7).

Табл. 7. Чувствительность базовой и мобильной радиостанции

Тип радиостанции	Условия распространения радиосигнала	
	статические	динамические
Базовая	-115 дБм	-106 дБм
Мобильная	-112 дБм	-103 дБм

## Контрольные вопросы и задания

1. Опишите основные факторы, влияющие на энергетические характеристики радиоканалов в системах радиодоступа.
2. Что такое модель распространения радиоволн и какие модели наиболее часто используются для анализа энергетических характеристик радиоканалов?
3. Рассчитать потери в свободном пространстве для радиоканала с частотой 2,4 ГГц на расстоянии 1 км.
4. Опишите влияние затухания на краю зоны видимости на энергетические характеристики радиоканалов.
5. Какие методы и инструменты используются для измерения энергетических характеристик радиоканалов в реальных условиях?
6. Объясните, как изменяется уровень сигнала при увеличении расстояния между передатчиком и приемником на примере заданной модели радиоканала.
7. Объясните концепцию отношения сигнал/шум (SNR) и его влияние на качество радиоканала.
8. Какие модели затухания могут применяться для различных частотных диапазонов в радиоканалах?
9. С помощью моделирования в программной среде рассчитать энергетические потери для радиоканала с заданными параметрами.
10. Опишите, как погодные условия могут влиять на энергетические характеристики радиоканалов и какие модели учитывают эти факторы.

## Список рекомендованной литературы

1. Грищенко, С. Г. Проектирование сетей наземной радиосвязи, телевидения и радиовещания : учебное пособие / С. Г. Грищенко, Н. Н. Кисель. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. – 129 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598612>. – Текст : электронный.
2. Фокин, В. Г. Гибкие транспортные сети : учебное пособие / В. Г. Фокин, Р. З. Ибрагимов. – 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. – 272 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=695042>. – Текст : электронный.
3. Шиян-Фролова, О. Л. Транспортные системы телекоммуникаций : учебное пособие / О. Л. Шиян-Фролова, Т. А. Матковская, М. Н. Мацкевич. – Минск : РИПО, 2023. – 129 с. – URL:

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=712257>. – Текст : электронный.

4. Акулиничев, Ю. П. Радиотехнические системы передачи информации : учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, А. С. Бернгардт ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР) ; Кафедра радиотехнических систем. - Томск : ТУСУР, 2015. – 196 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480583>. – Текст : электронный.

5. Усенко, О. А. Математические основы проектирования радиоэлектронных систем и комплексов : учебное пособие / О. А. Усенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2020. – 187 с. : ил. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=619060>. – Текст : электронный.

6. Никонов, В. И. Линии радиосвязи и методы их защиты : учебное пособие / В. И. Никонов, И. В. Никонов ; Омский государственный технический университет. – Омск : Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2021. – 96 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=700632>. – Текст : электронный.

## Лабораторная работа №2

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТИ СТАНДАРТА GSM-900

**Цель работы:** освоение принципов проектирования подсистемы базовых станций сети стандарта GSM-900.

**Задание:**

Выполнить территориально-частотное планирование подсистемы базовых станций сети GSM-900 на заданной территории. Территория представляет собой городскую застройку, разделенную на две зоны: центральную и периферийную. Для каждой зоны задан радиус  $R$ , количество абонентов  $N$  в ЧНН, нагрузка от одного абонента  $Y$  в ЧНН. При расчете необходимо учитывать следующие ограничения:

- на реализацию системы выделено 27 частотных каналов,
- вероятность блокировки вызова составляет 5%,
- в кластер объединяются 3-4 соты,
- каждая сота разделена на 3 сектора,
- радиус соты в городской застройке 0.4 – 6 км,
- эффективность использования частотного канала должна составлять 70-100%.

Необходимо рассчитать количество сот в системе, количество частотных каналов в соте, выполнить присвоение частот в кластере.

Также необходимо рассчитать количество оборудования BSS, используя при построении сети оборудование фирмы Huawei.

#### 1. Частотно-территориальное планирование сети

В качестве исходных данных возьмем значения, приведенные в таблице 1.

Табл. 1

Для центральной зоны			Для периферийной зоны		
$R_1$ , км	$N_1$ , чел	$Y_1$ , Эрл	$R_2$ , км	$N_2$ , чел	$Y_2$ , Эрл
6,5	21000	0,016	25	60000	0,011

*Расчет:*

1.1 Рассчитаем площадь центральной зоны  $S_1$ :

$$S_1 = \pi \cdot R_1^2 = 3,14 \cdot 6,5^2 = 132.665 \text{ км}^2$$

и площадь периферийной зоны  $S_2$ :

$$S_2 = \pi \cdot (R_2 - R_1)^2 = 3,14 \cdot (25^2 - 6,5^2) = 1829.835 \text{ км}^2$$

1.2 Определим суммарную нагрузку в каждой зоне:

$$Y_{\Sigma 1} = Y_1 \cdot N_1 = 0,016 \cdot 21000 = 336 \text{ Эрл.}$$

$$Y_{\Sigma 2} = Y_2 \cdot N_2 = 0,011 \cdot 60000 = 660 \text{ Эрл.}$$

1.3 Выбрав радиус соты  $R_1$  и  $R_2$  для каждой зоны, находим площадь соты:

$$S_{\text{соты}1} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot R_{\text{соты}1}^2 = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 2^2 = 10,4 \text{ км}^2.$$

$$S_{\text{соты}2} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot R_{\text{соты}2}^2 = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 3^2 = 23,4 \text{ км}^2.$$

1.4 Определим количество сот в каждой зоне, учитывая перекрытие сот в пределах 20 – 30%

$$N_{\text{сот}1} = \frac{S_1}{S_{\text{соты}1}} \cdot 1,2 = 132.665 / 10,4 \cdot 1,2 = 16 \text{ сот}$$

$$N_{\text{сот}2} = \frac{S_2}{S_{\text{соты}2}} \cdot 1,2 = 1829.835 / 23,4 \cdot 1,2 = 94 \text{ соты}$$

1.5 Определим суммарную нагрузку в соте  $Y_{\text{соты}1}$  и  $Y_{\text{соты}2}$ :

$$Y_{\text{соты}1} = \frac{Y_{\Sigma 1}}{N_{\text{сот}1}} = 336 / 16 = 21 \text{ Эрл}$$

$$Y_{\text{соты}2} = \frac{Y_{\Sigma 2}}{N_{\text{сот}2}} = 660 / 94 = 7,02 \text{ Эрл}$$

1.6 Определим нагрузку в секторе  $Y_{\text{сект}1}$  и  $Y_{\text{сект}2}$ :

$$Y_{\text{сект}1} = \frac{Y_{\text{соты}1}}{3} = 21 / 3 = 7 \text{ Эрл}$$

$$Y_{\text{сект}2} = \frac{Y_{\text{соты}2}}{3} = 7,02 / 3 = 2,34 \text{ Эрл}$$

1.7 Количество информационных каналов:

при определении количества информационных каналов в секторе заложим превышение рассчитанной нагрузки на 20%.

$$Y_{\text{сект}1} \cdot 1,2 = 7 \cdot 1,2 = 8,4 \text{ Эрл}$$

$$Y_{\text{сект}2} \cdot 1,2 = 2,34 \cdot 1,2 = 2,808 \text{ Эрл}$$

По таблице Эрлангов с учетом 5% блокировки вызова находим необходимое количество каналов трафика ТСН в секторе для каждой зоны:

$$N_{\text{инф.кан.сект}1} = 13 \text{ каналов,}$$

$$N_{\text{инф.кан.сект}2} = 6 \text{ каналов.}$$

1.8 Определим общее количество каналов:

зная количество каналов трафика ТСН, по таблице 2 находим необходимое количество каналов управления ССН.

Табл. 2. Соотношение между ТСН и ССН.

ССН	ТСН
1	$\leq 15$
2	$\leq 22$
3	$\leq 29$

Далее, находим общее количество каналов в секторе:

$$N_{\text{общ.сект1}} = \text{ТСН} + \text{ССН} = 13 + 1 = 14 \text{ каналов,}$$

$$N_{\text{общ.сект2}} = \text{ТСН} + \text{ССН} = 6 + 1 = 7 \text{ каналов.}$$

1.9 Находим количество частотных каналов в секторе:

$$N_{\text{ЧК сект 1}} = N_{\text{общ.сект.1}} / 8 = 14 / 8 = 2 \text{ канала}$$

$$N_{\text{ЧК сект 2}} = N_{\text{общ.сект.2}} / 8 = 7 / 8 = 1 \text{ канал}$$

Если эффективность использования частотных каналов низкая, то необходимо найти такой радиус соты, при котором эффективность использования частотных каналов была в пределах 70-100%. В нашем задании эффективность составила 87,5% для центральной зоны и 87,5% для периферийной зоны.

1.10 Общее количество частотных каналов в системе:

(если в кластере 3 соты)

$$N_{\sum \text{ЧК1}} = N_{\text{ЧК сект1}} \cdot 3 \cdot 3 = 18 \text{ каналов}$$

$$N_{\sum \text{ЧК2}} = N_{\text{ЧК сект2}} \cdot 3 \cdot 3 = 9 \text{ каналов}$$

Если максимальное значение из двух чисел больше 27 – максимального количества частотных каналов, значит необходимо уменьшить радиус соты.

Далее необходимо назначить номера частотных каналов, т.е. присвоить номиналы частот, частотным каналам в каждом секторе. Назначение нужно выполнять таким образом, чтобы номера частотных каналов соседних кластеров отличались на 2 и более.

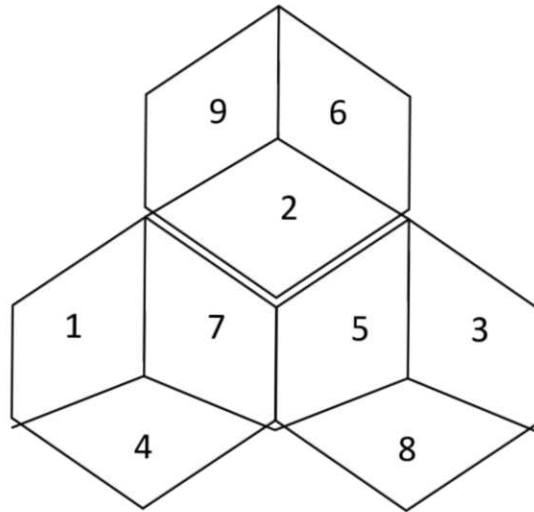


Рис.1. Назначение частотных каналов.

## 2. Расчет оборудования

Нарис. 2 показана обобщенная схема построения сети GSM. Всю сеть можно логически разделить на несколько частей: подсистему базовых станций (BSS), подсистему коммутации (NSS), подсистему ТЭ и ТО (OMC). Кроме того, в отдельную подсистему можно выделить сеть пакетной передачи GPRS.

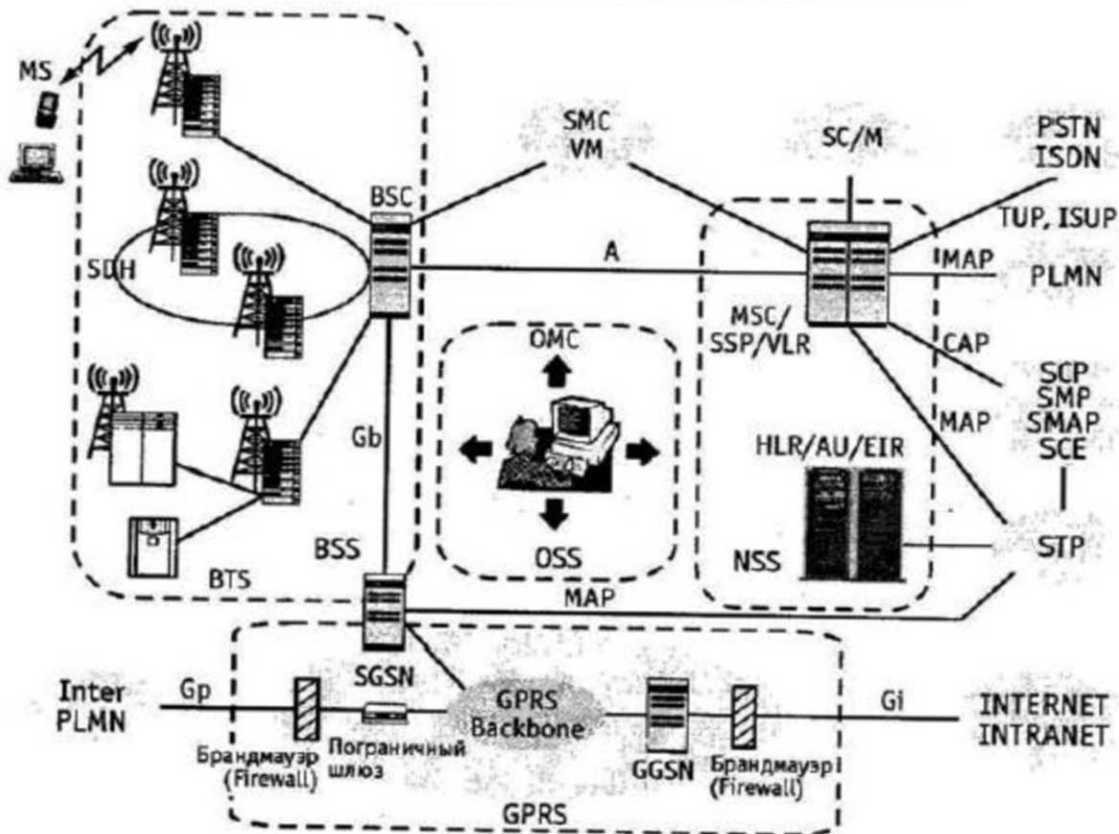


Рис. 2. Обобщенная схема построения сети GSM.



Более подробно рассмотрим подсистему базовых станций. Подсистема базовых станций (BSS) состоит из:

- базовых приемопередающих станций (BTS) различных типов и конфигураций

- контроллера базовых станций (BSC).

Функционально к BSS также относится модуль транскодера TC (часто устанавливается на стороне MSC), который находится между BSC и MSC и осуществляет функции кодирования/декодирования информации, а также мультиплексирования/демультиплексирования по схеме 4:1.

Интерфейс Abis между БС и контроллером является внутренним (каждый производитель оборудования GSM реализует его по-своему), поэтому при установке базовых станций необходимо также использовать контроллер той же компании производителя. Стыковка оборудования NSS и BSS различных поставщиков возможна по открытому А-интерфейсу (между MSC и BSC).

Базовая приемопередающая станция (BTS) выполняет преобразование сигналов радиосвязи в сигналы проводной сети, беспроводное демультиплексирование и мультиплексирование, кодирование радиоканала и функцию перескока по частоте и хэндовера. Компания Huawei предлагает несколько типов базовых станций M900/M1800, которые рассчитаны на различное количество модулей приемопередатчиков (*Transceiver Unit, TRU или TRX*) и имеют разное конструктивное исполнение. Все типы базовых станций позволяют комбинировать модули приемопередатчиков 900 и 1800 МГц. На настоящий момент для продаж в России сертифицированы базовые станции внутреннего типа исполнения BTS312 (12 TRU) и BTS30 (6 TRU).

Базовая станция M900/M1800 состоит из трех частей (рис. 3): основного блока, блока приемопередатчиков (TRU) и антенно-фидерной системы.

Основной блок состоит из:

- блока синхронизации/передачи и управления (TMU),
- блока распределения синхронизации (TDU),
- дополнительного блока передачи (TEU),
- блока питания дополнительного блока передачи (TES),
- блока мониторинга работы вентилятора (FMU),
- блока электропитания (PSU),
- блока мониторинга электропитания и состояния окружающей среды (PMU),

- блока распределения электропитания (SWITCH BOX),
- блока вентилятора (FAN BOX),
- воздухозаборника (AIR BOX).

Блок приемопередатчиков, как следует из названия, включает в себя несколько модулей TRU. В рамках одной BTS возможно смешивание TRU, работающих в диапазоне 900 и 1800 МГц.

Однако следует учесть, что в таком случае для каждого модуля TRU необходимо предусмотреть отдельный модуль комбайнеров (CDU).

Антенно-фидерная система состоит из:

- антенны,
- блока комбайнера (Combiner and Divider Unit, CDU),
- блока мачтового усилителя (Tower Amplification unit, TA),
- системы кабелей с низким потреблением мощности (low consumption transmission cables). Его основные функции - передача и прием радиосигнала, а также выдача аварийной сигнализации.

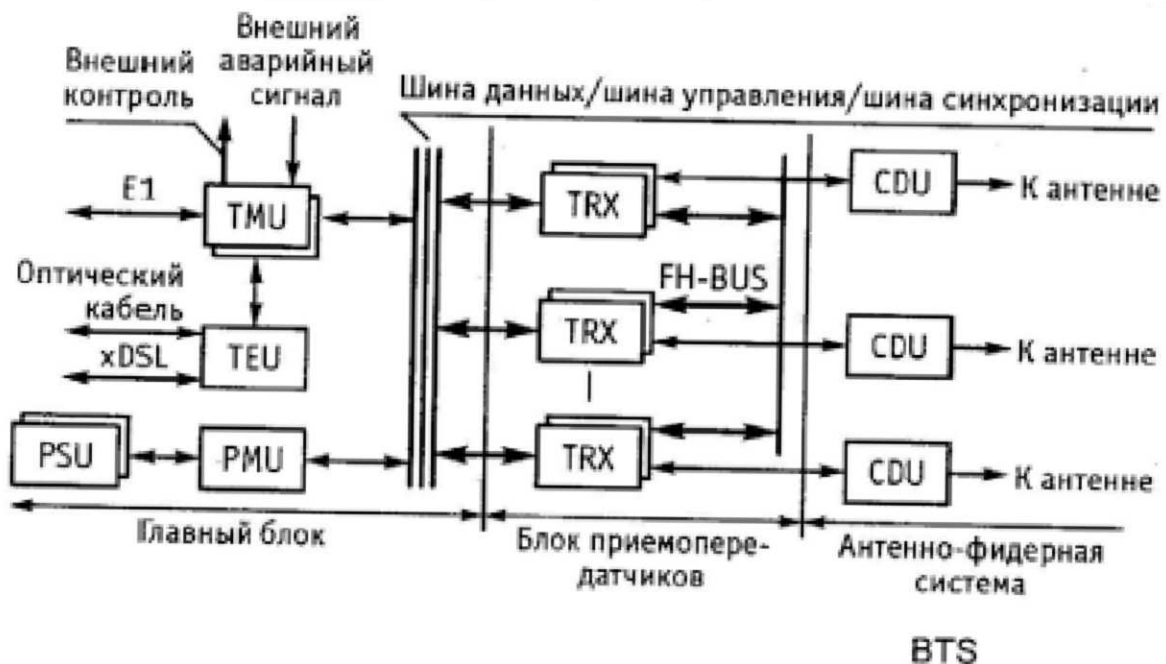


Рис. 3. Структурная схема оборудования BTS

Контроллер базовых станций BTS выполняет управление радиоресурсами (RR), управление базовыми станциями BTS, управление мощностью и ведением статистики трафика радиоканалов. Оборудование контроллера базовых станций системы M900/M1800 создано на базе цифровой коммутационной системы C&C08 и также, как и коммутационная система, имеет модульную структуру.

Аппаратная часть M900/M1800 BSC состоит из административно-коммуникац. модуля (AM/CM), базового модуля (BM) и центральной базы данных (CDB).

Если емкость M900/M1800 BSC не превышает 128TRU, требуется только один модуль BM, а потребности в модуле AM/CM в этом случае нет. Если емкость BSC превышает 128TRU, необходим модуль AM/CM, а число BM зависит от самой емкости (максимально можно сконфигурировать 8 BM) (Кол-во TRU / 128).

На первом этапе расчета оборудования необходимо выбрать тип BTS. Выбор основывается на количестве частотных каналов, используемых в соте. Для нашего примера выбираем BTS30 6TRX, которая рассчитана на 6 частотных каналов, т.к. в сотах обеих зон используется по три частотных канала.

Количество модулей TRX в BTS равно кол-ву частотных каналов в соте, т.е. равно 9.

Количество модулей CDU равно количеству секторов в соте, т.е. также равно 3.

Количество потоков E1 определяется из соотношения 1TRX – 2 канальных интервала, поэтому нам достаточно 1 потока E1 и, соответственно, одного модуля TMU.

Для расчета оборудования BSC необходимо найти общее количество модулей TRX:

$$\sum TRX = N_{СОТ1} * 3 * N_{ЧКСЕКТ1} + N_{СОТ2} * 3 * N_{ЧКСЕКТ2} = 16 * 3 * 2 + 94 * 3 * 1 = 378$$

$$\sum BM = \sum TRX / 128 = 378 / 128 = 3$$

Табл. 3. Состав оборудования BTS.

	Центральная зона	Периферийная зона
Тип BTS	BTS312	BTS30
Количество BTS	16	94
Количество модулей TRX в BTS	6	3
Количество модулей TRX	96	282
Количество модулей CDU в BTS	3	3
Количество модулей CDU	48	282
Количество модулей TMU в BTS	1	1
Количество модулей TMU	16	94

Табл. 4. Состав оборудования M900/M1800 BSC.

Центральная база данных (CDB)	1
Модуль AM/CM	1
Модуль BM	3

**Вывод:** произведя вычисления, для проектируемой сети мобильной радиосвязи стандарта GSM-900, изложить результаты расчетов

### Контрольные вопросы и задания

1. Опишите архитектуру базовой станции GSM-900 и ее основные компоненты.
2. Каковы основные факторы, влияющие на выбор места для установки базовой станции GSM-900?
3. Рассчитать оптимальную высоту установки антенны для базовой станции GSM-900 в заданной области.
4. Объясните принцип работы антенн в системе GSM-900 и опишите, как они обеспечивают покрытие сети.
5. Какие параметры следует учитывать при настройке частотного плана для базовой станции GSM-900?
6. Разработать частотный план для базовой станции GSM-900 с учетом минимизации интерференции.
7. Опишите процедуры оптимизации сети, используемые для улучшения работы базовых станций GSM-900.
8. Какие методы используются для мониторинга и управления работой базовых станций в сети GSM-900?
9. Выполнить расчет емкости базовой станции GSM-900 в зависимости от заданной плотности пользователей и объемов трафика.
10. Объясните, как погодные условия и окружающая среда могут влиять на работу базовых станций GSM-900, и какие меры могут быть предприняты для минимизации этих влияний.

### Список рекомендованной литературы

1. Грищенко, С. Г. Проектирование сетей наземной радиосвязи, телевидения и радиовещания : учебное пособие / С. Г. Грищенко, Н. Н. Кисель. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. – 129 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598612>. – Текст : электронный.
2. Фокин, В. Г. Гибкие транспортные сети : учебное пособие / В. Г. Фокин, Р. З. Ибрагимов. – 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. – 272 с. – URL:

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=695042>. – Текст : электронный.

3. Шиян-Фролова, О. Л. Транспортные системы телекоммуникаций : учебное пособие / О. Л. Шиян-Фролова, Т. А. Матковская, М. Н. Мацкевич. – Минск : РИПО, 2023. – 129 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=712257>. – Текст : электронный.

4. Акулиничев, Ю. П. Радиотехнические системы передачи информации : учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, А. С. Бернгардт ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР) ; Кафедра радиотехнических систем. - Томск : ТУСУР, 2015. – 196 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480583>. – Текст : электронный.

5. Усенко, О. А. Математические основы проектирования радиоэлектронных систем и комплексов : учебное пособие / О. А. Усенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2020. – 187 с. : ил. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=619060>. – Текст : электронный.

6. Никонов, В. И. Линии радиосвязи и методы их защиты : учебное пособие / В. И. Никонов, И. В. Никонов ; Омский государственный технический университет. – Омск : Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2021. – 96 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=700632>. – Текст : электронный.

### Лабораторная работа №3

## ПЛАНИРОВАНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ СЕТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ПОТЕРИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ

### Краткая информация о частотно-территориальном планировании сети соединительных РРЛ (СРРЛ)

В соответствии с принципами построения современных ССР в качестве СРРЛ применяются низкоскоростные (скорость передачи в стволе 2...8,5 Мбит/с) и среднескоростные (скорость передачи в стволе 17...34 Мбит/с) ЦРРЛ с числом стволов от 1 и более в зависимости от требуемой пропускной способности соединительной линии.

В любом случае минимальная скорость передачи по стволу должна составлять 2 Мбит/с, обеспечивающая передачу стандартного цифрового потока Е1. Если требуемая скорость в соединительной линии должна быть более 2 Мбит/с, то в СРРЛ организуются, соответственно, столько 2 Мбит/с-х стволов или подстволов, чтобы обеспечивалась необходимая общая скорость в данной соединительной линии СЛ.

При составлении ЧТП в этом случае надо стремиться обеспечить функционирование сети СРРЛ в минимальной занимаемой полосе частот. Этому соответствует, прежде всего, применение 2-х частотного плана рабочих частот (ПРЧ) сети, т.е. когда для организации работы всех СРРЛ используется только две рабочие частоты. Пример такого плана для простой ситуации (для сети, состоящей из 3-х СРРЛ) представлен на рисунке 1. Как видно из рисунка 1 в такой радиосети одни и те же частоты ( $f_1$  и  $f_2$  в данном случае) используются на разных пролетах, следствием чего вероятно возникновение МС с недопустимым уровнем, т.е. невыполнение условий внутрисистемной ЭМС данной сети СРРЛ.

Присвоение рабочих частот должно производиться из условия максимального уменьшения как числа МС в сети, так и их уровней. Для решения данной задачи надо конкретизировать структуру сети СРРЛ рассматриваемой системе сотовой связи и изобразить ее в виде, как на рисунке 1. Кроме того, в сеть СРРЛ должны быть включены резервные СРРЛ, обеспечивающие живучесть сети, таким образом, чтобы между каждой парой пунктов связи в сети было как минимум два маршрута. Очевидно, что эти дополнительные СРРЛ также должны учитываться в процессе ЧТП.

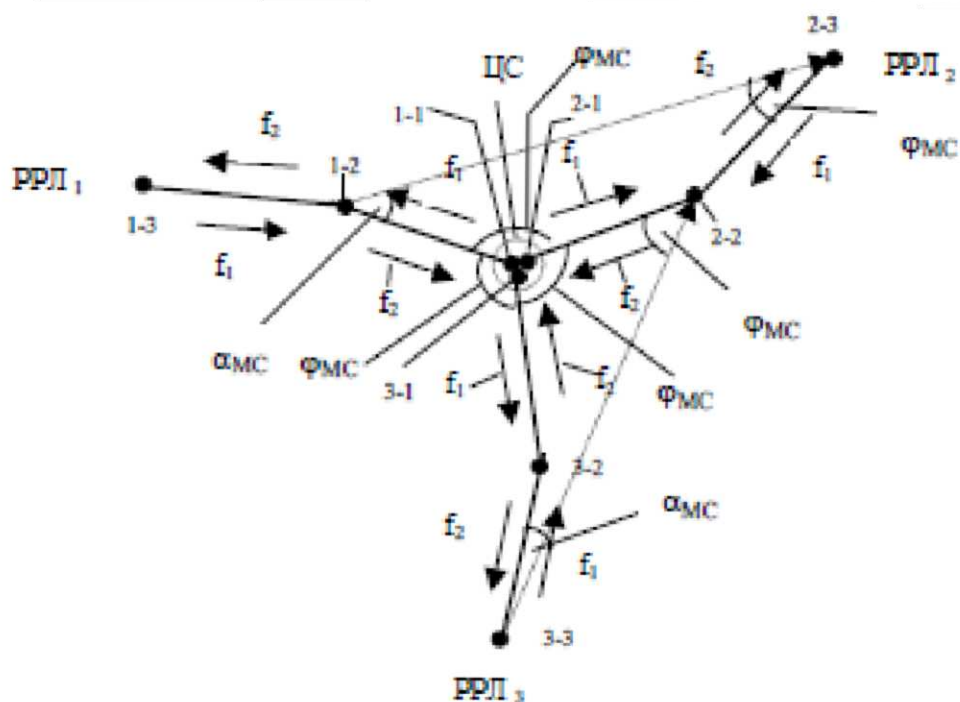


Рис. 1. Типовой вариант распределения рабочих частот в сети СРРЛ на основе 2-х частотного ПРЧ (на примере 3-х СРРЛ)

На рисунке 1 показаны условно три двухпролетные СРРЛ, которые пронумерованы РРЛ1 – РРЛ3, и точками - РРС, имеющие двойную нумерацию: первая цифра указывает номер СРРЛ, а вторая – номер пролета в данной СРРЛ, начиная от центральной станции (ЦС). Распределение частот, как правило, всегда имеет такой же характер, как показано на этом рисунке.

Для минимизации числа рабочих частот в сети выполняется проверка допустимости повторного использования одной и той же частоты. Здесь рекомендуется это делать приближенно путем проверки выполнения условия пространственной развязки, которое аналогично условию “зигзагообразности” в РРЛ. Последнее состоит в проверке или обеспечении достаточно большого значения суммы угла исхода МС с передающей антенны мешающей станции и угла прихода МС на приемную антенну станции, подверженной воздействию этого МС (углы  $\alpha_{МС}$  и  $\varphi_{МС}$  на рисунке 1, соответственно). При этом следует отметить, что в сети РРЛ имеются два типа помеховых ситуаций: воздействие МС в узле (на рисунке 1 это соответствует ситуации с ЦС, где сходятся пролеты 3-х РРЛ с одинаковыми рабочими частотами  $f_2$ ) и воздействие МС от удаленных пролетов. Для первой из указанных ситуаций всегда имеет место  $\alpha_{МС} = 0$ , а для второй ситуации - как тот, так и другой углы могут изменяться от 0 до 1800.

Величина этих углов зависит от направленности антенн РРС, характеризуемой диаграммой направленности антенны (ДНА).

**Цель работы:** размещение сети соединительных РРЛ на цифровой карте местности; выбор параметров оборудования и выполнение расчетов, необходимых для оценки электромагнитной совместимости (ЭМС).

### Предварительные настройки:

1. Построить радиорелейную сеть, для этого необходимо:

а) Выбрать пункт меню «Сеть/Новая/Тип новой сети» (где тип новой сети – «Релейная»).

б) В появившемся диалоговом окне указать параметры радиорелейной сети (заданы по умолчанию)

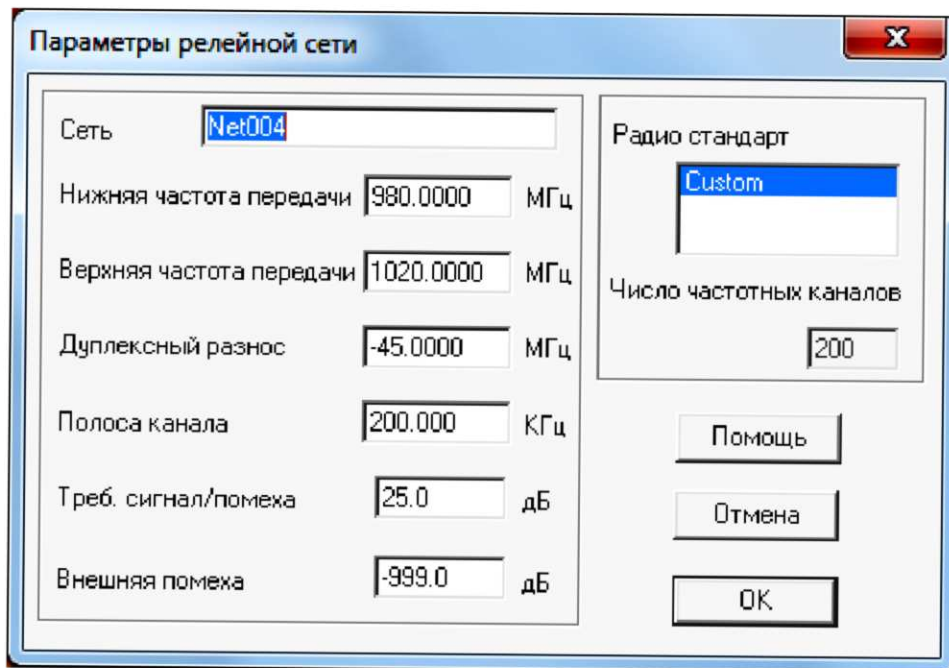
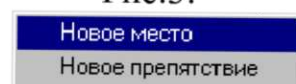


Рис.2.

в) Находясь в режиме редактирования подвести курсор к месту размещения приемопередатчиков на карте и нажать левую кнопку мыши. В появившемся меню

Рис.3.



г) выбрать пункт «Новое место» и в диалоговом окне ввести координаты мест размещения станций:



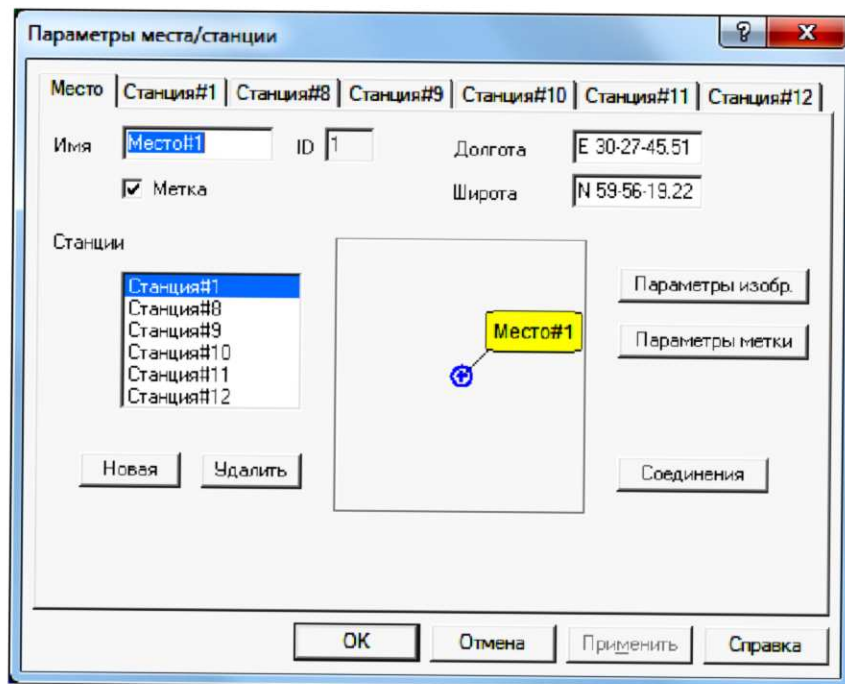


Рис.4.

- Место #1: долгота E 30-27-45.51, широта N59-56-19.22
- Место #2: долгота E 30-22-6.04, широта N59-52-35.88
- Место #3: долгота **E 30-17 - 43.11**, широта **N59-56-22.30**
- Место #4: долгота E 30-23-22.58, широта N60-0-5.63
- Место #5: долгота E **30-34-4.91**, широта **N59-59-53.31**
- Место #6: долгота E 30-37-1.31, широта N59-56-13.05
- Место #7: долгота E 30-33-8.34, широта N59-52-48.20

д) В релейной сети, в окне ввода параметров, нажимая кнопку «Новая» добавить требуемое количество приемопередатчиков, размещаемых в данном месте и, выбрав соответствующую закладку, назначить состав оборудования каждого из них.

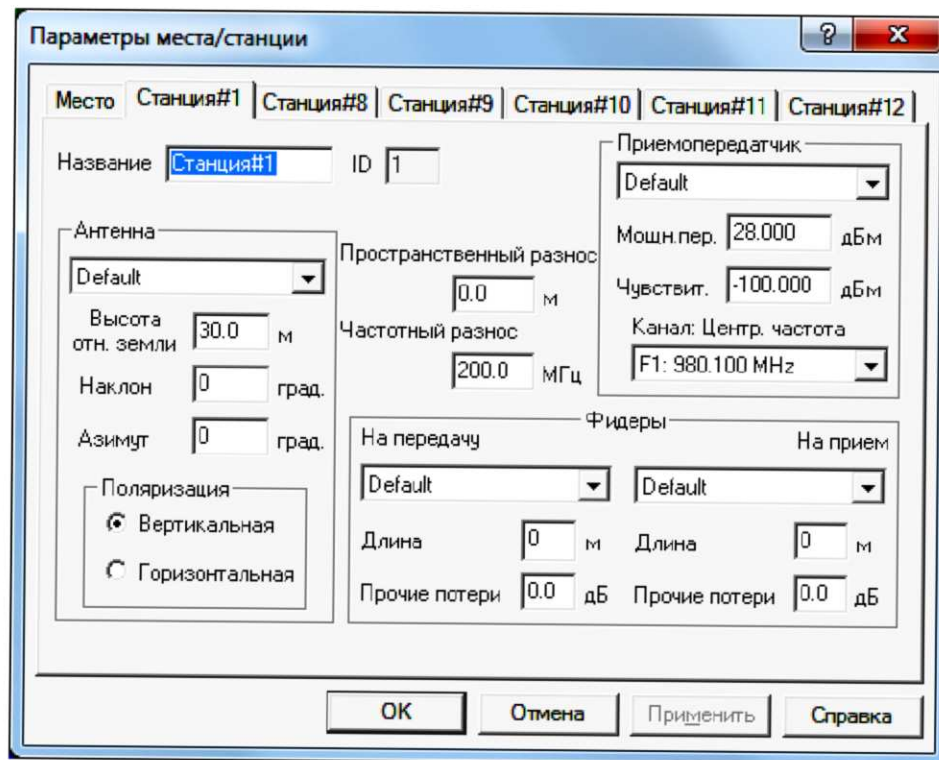


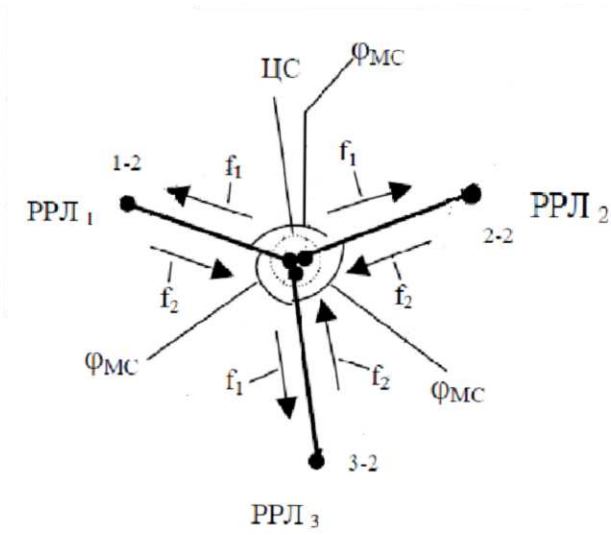
Рис.5.

е) Разместить станции на местах установки в следующем порядке:

- Место #1: станция 1, 8, 9, 10, 11, 12;
- Место #2: станция 2;
- Место #3: станция 3;
- Место #4: станция 4;
- Место #5: станция 5;
- Место #6: станция 6;
- Место #7: станция 7.

2. Задать параметры каждой станции с соблюдением дуплексного и канального разнеса, также установить: **Поляризация** – *вертикальная*, **Фидеры** – *Default*, **Антенны** – в соответствии с таблицей 1.

Распределение частот между станциями осуществить на основе 2-х частотного плана, представленного в качестве примера на следующем рисунке.



пример частотного  
планирования РРЛ (2-х  
частотный план)

Рис. 6.

3. Создать радиолинии:

- станция 1 - станция 2;
- станция 8 - станция 3;
- станция 9 - станция 4;
- станция 10 - станция 5;
- станция 11 - станция 6;
- станция 12 - станция 7;

Для чего необходимо:

а) Войти в режим редактирования места размещения приемопередатчиков и в перечне имеющихся в этом месте приемопередатчиков указать на тот, который объединяется в радиолинию.

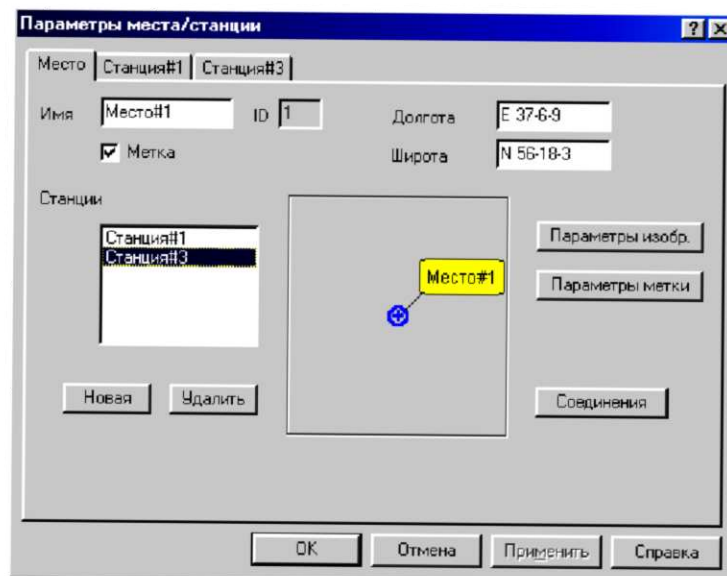


Рис. 7.

- Нажать кнопку «Соединение».
- В появившемся окне из числа доступных станций выбрать ту, с которой требуется выполнить соединение.

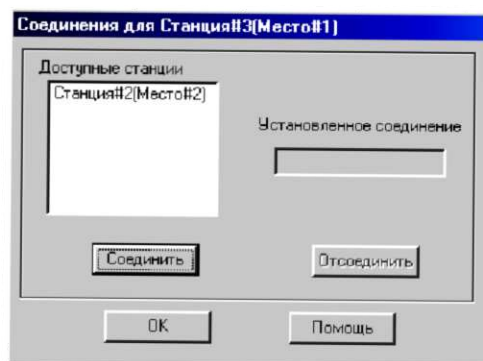


Рис. 8.

- Нажать кнопки «Соединить» и «ОК».
- Закрывать окно редактирования параметров места (нажать кнопку «ОК»).

### Лабораторное задание

1. Частотные параметры станций установить в соответствии с заданными параметрами сети, с соблюдением канального и дуплексного интервалов. Задать параметры станций: имя - станция#1, антенна - (таблица 1), высота антенны (по умолчанию) поляризация - вертикальная, приемопередатчик - default, фидеры - default.

Табл. 1

Номер варианта	Тип антенны
1	default
2	Ant
3	Antenna R
4	Antenna T

2. Для релейной сети выполнить следующие виды расчетов:

2.1 Анализ профиля радиолинии.

Для анализа профиля радиолинии необходимо:

а) Выбрать пункт меню «Выполнить» и в появившемся меню выбрать пункт «Профиль радиолинии».

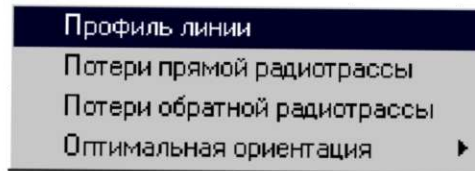


Рис. 9.

В появившемся диалоговом окне поочередно выбрать радиолинию для оценки её профиля и нажать «ОК».

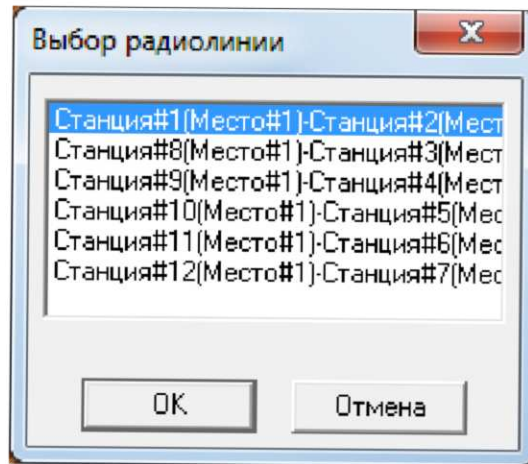


Рис. 10.

б) В окне трассы будет изображен профиль анализируемой радиолинии с указанием в правой части окна уровня принимаемого сигнала и характеристик профиля. Высоты расположения антенн передатчика (он располагается в левой точке профиля) и приемника (в правой точке профиля) указаны непосредственно под ними. При передвижении курсора вдоль профиля в нижней части окна показываются расстояния от текущей точки профиля до обеих антенн, а также значение просвета в данной точке.

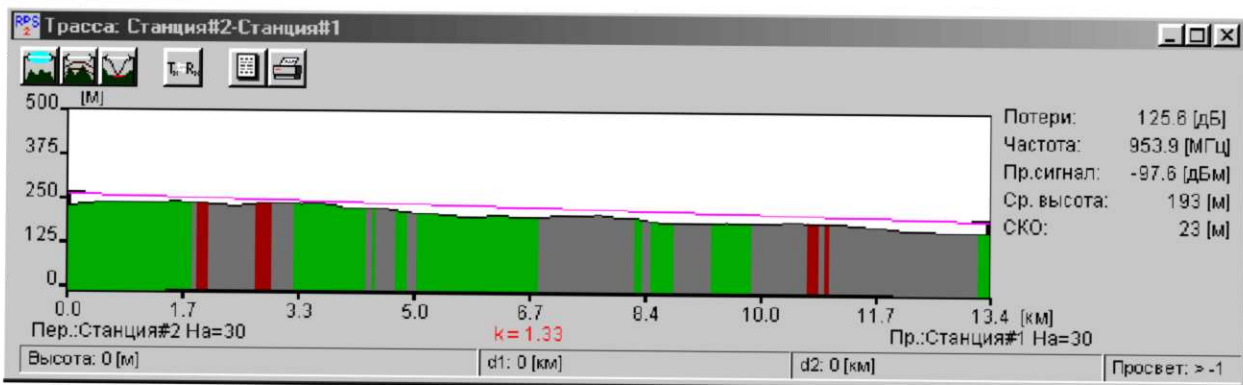





Рис. 11.

Нажатием на кнопку  получить и зафиксировать информацию о том, какой фактор (дифракция, отражение и т.д.) какой вклад внес в

потери распространения сигнала.

в) После нажатия на кнопки  и  в окне с профилем радиолинии дополнительно получить и зафиксировать информацию, соответственно, о первой зоне Френеля и точках отражения сигнала (если они есть).

## 2.2 Расчет показателей надежности работы радиолиний.

Для расчета надежности радиолинии необходимо:

- а) Выбрать пункт меню «Выполнить/Расчет надежности».
- б) Из указанного списка выбрать «Модель ANT», по которой провести расчет показателей надежности работы радиолинии.

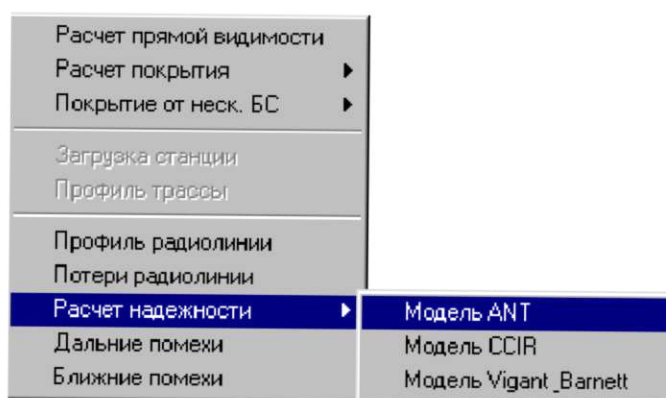


Рис. 12.

в) Выбрать поочередно радиолинию, для которой следует рассчитать показатели надежности ее работы.

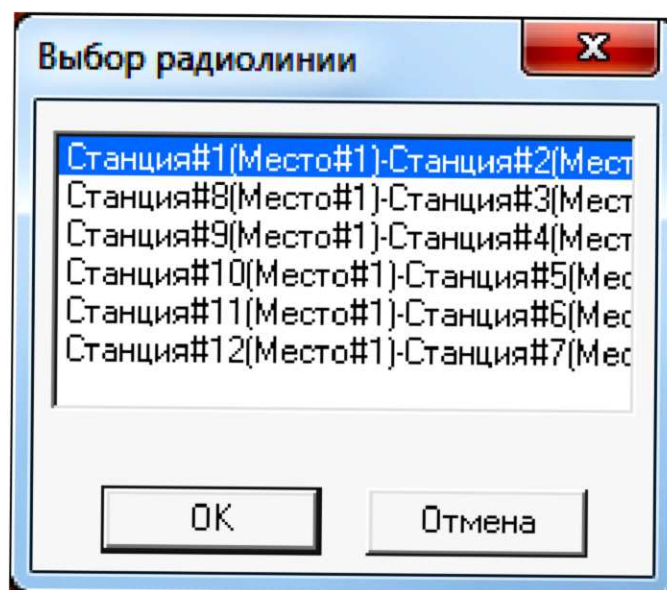


Рис. 13.

и в появившемся окне «Расчет надежности радиолинии»

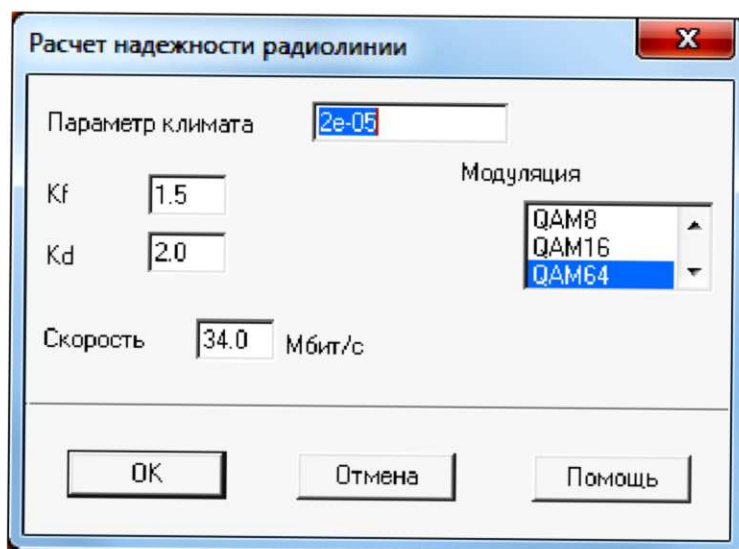


Рис. 14.

задать исходные данные для расчета в соответствии с таблицей 2, зафиксировать полученные результаты.

Табл. 2

Номер варианта	Модуляция	Скорость Мбит/с
1	QAM8	4, 8, 16, 32
2	QAM16	4, 8, 16, 32
3	QAM64	4, 8, 16, 32
4	QAM128	4, 8, 16, 32

Провести сравнение полученных результатов расчетов.

2.3 Расчет помех от передатчиков, работающих в анализируемом регионе.

Для проведения расчета необходимо:

- а) Выбрать пункт меню «Выполнить/Дальние помехи».
- б) Поочередно указать радиолинию, для приемников которой рассчитываются помехи от удаленных передатчиков.
- в) Нажать кнопку «ОК».

Проанализировать полученные результаты и предложить меры по уменьшению уровня помех от удаленных передатчиков.

2.4 Расчет частот, на которых возможно появление интермодуляционных помех, вызванных взаимодействием друг на друга передатчиков, расположенных вблизи друг от друга вследствие нелинейности их характеристик.

Для проведения расчета необходимо:

- а) Выбрать пункт меню «Выполнить/Ближние помехи».
- б) Указать Место № 1, для которого рассчитываются возможные помехи от близко расположенных передатчиков.
- в) Нажать кнопку «ОК».

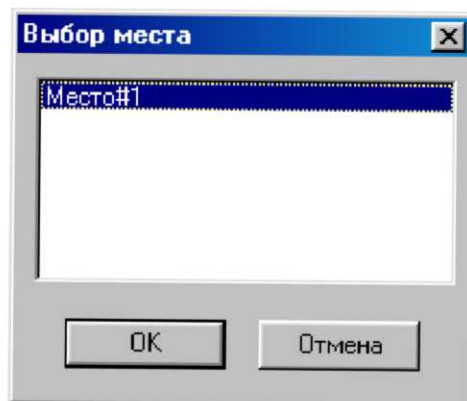


Рис. 15.

Проанализировать полученные результаты и предложить меры по уменьшению уровня интермодуляционных помех.

### Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилиями студентов и группы.
2. Цель работы и задание на лабораторную работу.
3. Результаты расчетов, полученные в ПП. 1-4 задания на лабораторную работу.
4. Цифровая карта местности с размещенными на ней РРЛ, профилями радиолиний.
5. Выводы по полученным данным расчетов.

### Контрольные вопросы

1. В каком диапазоне частот предусмотрена работа РРЛ для организации транспортных потоков между базовыми станциями?
2. Каковы особенности этих диапазонов?
3. Какова минимальная скорость передачи по стволу должна быть в СРРЛ?
4. Что такое радиорелейный пролет?
5. С какой целью в сеть СРРЛ должны быть включены резервные СРРЛ?
6. Какие существуют способы уменьшения влияния передатчика на работу приемника той же самой РРЛ станции?
7. За счет какого фактора возникает интерференция сигналов на РРЛ пролете?
8. За счет чего можно увеличить дальность связи на РРЛ пролете без увеличения мощности излучения?
9. Когда обосновано применение систем спутниковой связи?
10. Из каких элементов состоят линейные системы связи с подвижными объектами?