

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

А.Г. ЖУКОВСКИЙ

Методические указания
по выполнению лабораторной работы №3
по дисциплине

ЛИНИИ РАДИОСВЯЗИ И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ

Направление подготовки 11.03.02
Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль Защищенные инфокоммуникационные системы

Ростов-на-Дону
2022

Методические указания
по выполнению лабораторной работы №3
по дисциплине
ЛИНИИ РАДИОСВЯЗИ И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ

Методические указания разработаны на основе учебно-методических материалов головного вуза МТУСИ авторов М.М. Маковеевой и И.Ю.Сухоруковой.

Составитель: А.Г. Жуковский, профессор кафедры «ИТСС»

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры «ИТСС»
Протокол № 5 от 19.12.2022

Лабораторная работа № 3

ТЕМА: МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ КЛАСТЕРА И ЧАСТОТНОГО ПЛАНА С РАСЧЕТОМ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Цель работы:

1. Закрепить теоретические знания по способам и особенностям построения кластера.
2. Изучить методику и получить практические навыки по расчету отношения сигнал/интерференция.
3. Привить навыки по эксплуатации информационных технологий, связанных с применением компьютеров при проведении расчетов.

1. Основные положения по технике безопасности

В приборах и устройствах, используемых в лабораторной установке, имеются высокие напряжения, опасные для жизни. Поэтому в процессе выполнения работы студенты должны соблюдать высокую дисциплину на занятии, точно, четко и своевременно выполнять все требования преподавателя и работников лаборатории.

Во избежание поражения электрическим током при выполнении лабораторной работы **запрещается:**

- самостоятельно включать аппаратуру;
- извлекать и вскрывать блоки лабораторных установок и измерительных приборов;
- заменять предохранители в блоках и измерительных приборах при включенной аппаратуре;
- прикасаться руками или какими-либо предметами (отвертками, оголенными концами проводов и т.п.) к зажимам и гнездам лабораторной установки и измерительных приборов.

В случае поражения электрическим током **немедленно:**

- выключить напряжение сети, освободить пострадавшего от токонесущих цепей, обеспечив собственную безопасность;
- доложить руководителю занятий о случившемся;
- оказать пострадавшему медицинскую помощь.

2. Эксплуатационные вопросы

1. Перед включением компьютера необходимо провести их внешний осмотр и подготовку к работе, обратив внимание на наличие их заземления.

2. При проведении исследований необходимо соблюдать последовательность выполнения операций, указанных в настоящем руководстве.

3. Подготовка к выполнению лабораторной работы

До прихода в лабораторию **необходимо:**

1. Повторить теоретический материал, связанный с проведением лабораторной работы.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной работы, заданием и порядком ее выполнения.
3. Уяснить идею предстоящих в работе исследований.
4. Подготовить бланк отчета.
5. Ответить на контрольные вопросы.

4. Краткие сведения из теории

4.1. Деление обслуживаемой территории на соты.

Участок территории радиопокрытия, на котором осуществляется связь в фиксированной полосе частот, схематически изображается в виде правильного шестиугольника и по сходству с пчелиными сотами получил название *соты*. В результате СМР с пространственным разнесением частот получили наименование сотовых систем мобильной связи (ССМС). Группу сот, в пределах которой отсутствует повторное использование частотных полос, называют *кластером*. Сотовая топология позволяет многократно увеличить абонентскую емкость системы по сравнению с системами радиальной структуры и охватить сколь угодно большую зону обслуживания без ухудшения качества связи и расширения выделенного частотного диапазона. Вместе с тем использование сотового принципа построения предполагает и ряд усложнений, касающихся определения текущего местоположения мобильного абонента и обеспечения непрерывности связи при перемещении его из одной соты в другую. Соответствующая процедура получила название *эстафетной передачи* (в английской транскрипции *handoff* или *handover*).

Повторное использование частот.

Высокая спектральная эффективность ССМС достигается ценой максимально частого повторного использования одних и тех же частотных полос, и с этой точки зрения наиболее предпочтительным был бы трехсотовый (или трехэлементный) кластер, изображенный на рис. 1, а, где одинаковыми цифрами обозначены соты с совпадающими наборами частотных каналов. Кроме того, каждой из сот кластера данного типа отводится частотная полоса, равная трети полного частотного диапазона, а значит, и треть общего числа каналов связи в системе, что обеспечивает значительную абонентскую емкость соты. Вместе с тем частое повторение зон с одинаковыми полосами частот характеризуется заметным уровнем соканальных помех, т.е. помех от станций системы, работающих в той же полосе частот, но расположенных в несмежных сотах. Для уменьшения влияния соканальных помех более выгодны кластеры с большим числом элементов, например 7-элементные, изображенные на рис. 1, б.

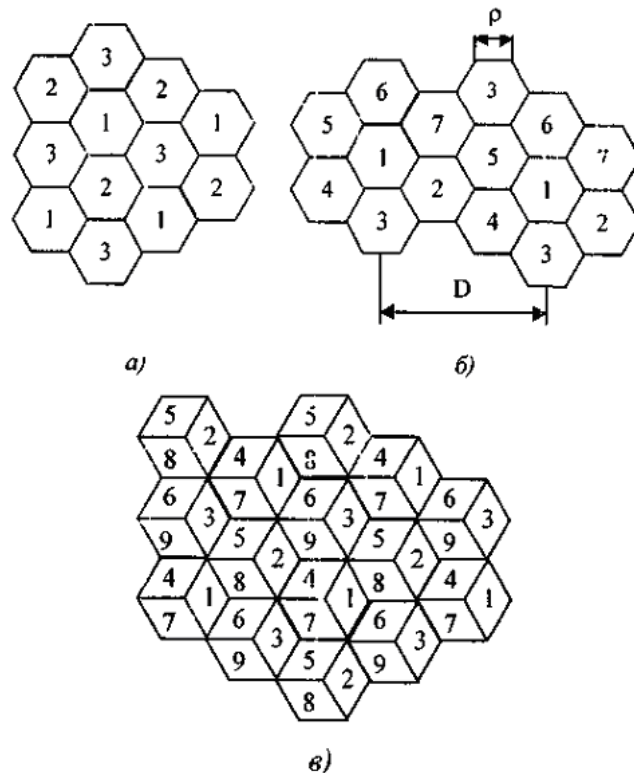


Рис. 1

Можно показать, что расстояние D между центрами ячеек, в которых используются одинаковые полосы частот, и число n_c элементов в кластере связаны соотношением

$$D = \sqrt{3n_c} \rho,$$

где ρ - радиус ячейки, т.е. радиус окружности, описанной вокруг правильного шестиугольника. Параметр ξ , определяемый соотношением

$$\xi = \frac{D}{\rho} = \sqrt{3n_c},$$

называют *коэффициентом уменьшения соканальных помех* или коэффициентом соканального повторения. Для величины $\eta = 1/n_c$ употребляют наименование *коэффициент эффективности повторного использования частот* или коэффициент повторного использования частот. Увеличение числа элементов в кластере, благоприятно сказывающееся на уровне соканальных помех, приводит к пропорциональному уменьшению полосы частот, которая может быть использована в каждой соте, а значит, к снижению абонентской емкости соты.

Рассмотренные структуры кластеров предполагают использование на базовых станциях антенн с круговой диаграммой направленности, осуществляющих передачу сигнала по всем направлениям с одинаковой мощностью. Эффективным способом снижения соканальных помех является применение направленных (в горизонтальной плоскости) антенн с шириной диаграммы направленности 120 или 60°, в результате чего шестиугольная ячейка

разбивается на 3 или 6 секторов, т.е. производится *секторизация сот*. В секторе сигнал излучается антенной только в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума. Таким образом, секторизация сот позволяет чаще использовать одинаковые полосы частот в кластерах без изменения их структуры либо в рамках прежней схемы повторения частот заметно снизить уровень соканальных помех. Если кластер состоит из n_c сот, каждая из которых содержит m_c секторов, то говорят, что размерность кластера $(n_c, n_c \times m_c)$. Типичными размерностями кластеров, широко применяемых на практике, являются (3,9), (4,12), (7,21). На рис. 1, в приведен возможный вариант распределения наборов частотных каналов в секторизованном кластере размерности (3,9). Отметим, что разработка топологии ССМС является своеобразной и достаточно сложной задачей.

4.2. Состав системы сотовой связи.

Хотя сотовые системы разных стандартов имеют значительные отличия в деталях, интегральное их описание с помощью некоторой обобщенной модели возможно и полезно. В качестве подобного обобщения выберем схему ССМС, приближенную к стандарту GSM, как наиболее отчетливо структурированную. Функциональное построение ССМС иллюстрируется схемой на рис. 2. В приведенной схеме условно можно выделить четыре основных компонента - центр управления и обслуживания (ЦУО) (иначе *operations and maintenance center- OMC*) и три подсистемы:

- подсистема мобильных станций ПМС (*mobile station subsystem MSS*);
- подсистема базовых станций ПБС (*base station subsystem BSS*);
- подсистема коммутации ПК (*switching subsystem SSS*), -функциональное сопряжение которых описывается рядом интерфейсов.

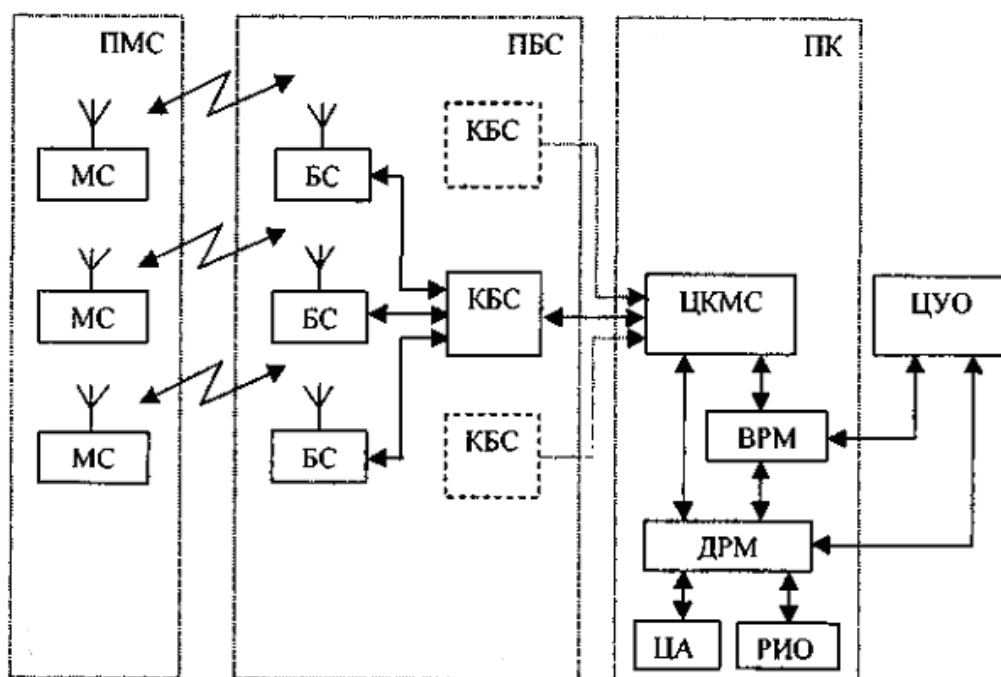


Рис. 2

ЦУО является центральным элементом ССМС, который обеспечивает управление другими компонентами системы, а также контроль качества функционирования. Подсистема мобильных станций объединяет оборудование, обеспечивающее доступ абонентов в систему, главным звеном в архитектуре ССМС является подсистема коммутации, которая включает в себя центр коммутации мобильной связи ЦКМС (*mobile switching center MSC*), визитный (гостевой) регистр местоположения ВРМ (*visited location register VLR*), домашний регистр местоположения ДРМ (*home location register HLR*), центр аутентификации ЦА (*authentication center AUC*) и регистр идентификации оборудования РИО (*equipment identity register EIR*). В подсистему базовых станций входят базовые приемо-передающие станции БС (*base transceiver station BTS*) и контроллеры базовых станций КБС (*base station controller BSC*).

Центр коммутации мобильной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы мобильная станция, т.е. коммутацию мобильных абонентов друг с другом, с абонентом ТФОП и др. На ЦКМС возлагаются также функции коммутации каналов, к которым относятся "передача обслуживания" (или "эстафетная передача") и переключение каналов в соте при появлении сильных помех и неисправностей, если только это не является обязанностью КБС. Помимо коммутационных задач ЦКМС, управляет процедурами слежения за мобильными станциями с помощью домашнего и визитного регистров местоположения для обеспечения доставки вызова, а также процедурами аутентификации и идентификации абонентов с помощью ЦА и РИО.

Блоки ДРМ и ВРМ по своей сути представляют собой базы данных. Первый содержит сведения о постоянно приписанных к данному ЦКМС абонентах и о видах услуг, которые им могут быть оказаны, второй содержит информацию об абонентах, временно находящихся в зоне обслуживания данного ЦКМС. Центр аутентификации обеспечивает возможность проведения процедуры аутентификации абонентов и шифрования передаваемых сообщений, РИО содержит сведения об эксплуатируемых мобильных станциях на предмет их исправности и санкционированного использования.

Контроллер базовых станций осуществляет управление несколькими БС, которые обеспечивают связь с МС через радиointерфейс, а также производит упаковку информации, передаваемой в ЦКМС, и ее распаковку при передаче в обратном направлении. К числу операций, производимых КБС, относятся передача обслуживания при переходе МС между сотами, контролируемые одним и тем же КБС, передача вызовов между МС, находящимися в зонах действия разных БС, но одного и того же контроллера (в противном случае первичное управление возлагается на ЦКМС). Под управлением КБС осуществляются радиоизмерения в каналах связи, регулируется мощность передатчиков мобильных и базовых станций.

5. Расчет отношения сигнал - интерференция

В теоретической части были рассмотрены принципы построения кластера для однородных моделей. В этих моделях антенны БС - ненаправленные, расстояние между БС с одинаковой частотой

$$D = \sqrt{3N} \cdot R_0, \quad (1)$$

где R_0 - радиус соты, N - размерность кластера.

$$q = \sqrt{3N} = \frac{D}{R_0}, \quad (2)$$

где q – коэффициент уменьшения соканальных помех.

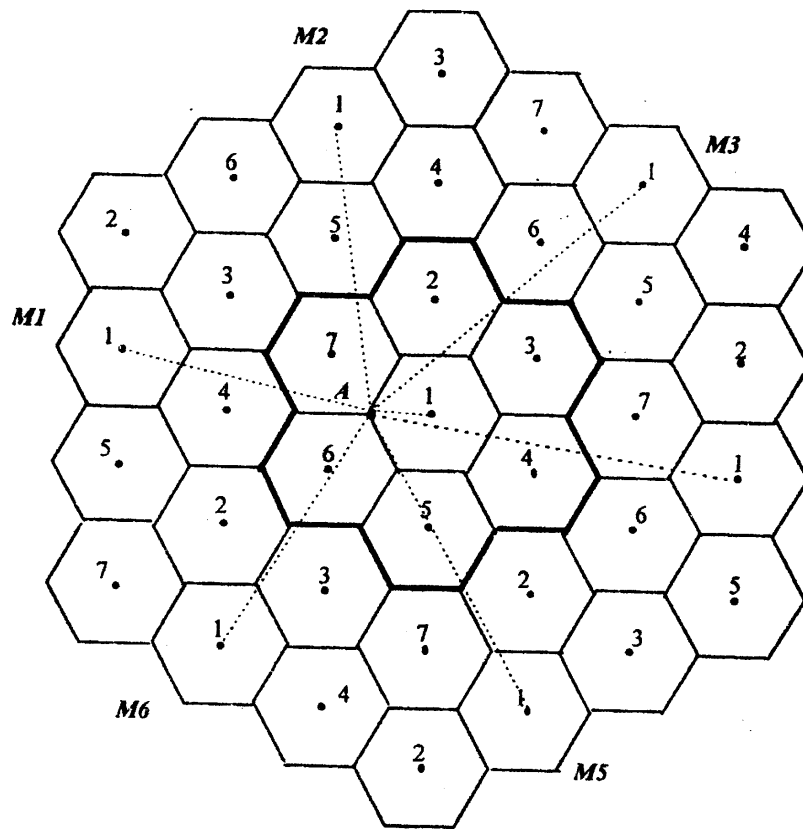


Рис.1

На рис. 1 приведен кластер при $N=7$ и пунктиром показаны пути шести мешающих сигналов при всенаправленных антеннах БС. Мешающие станции обозначены M1-M6. Расстояние от точки A до MC с номером J обозначим R_J ,

Для вычисления R_J , используем упрощенный рис. 2, аналогичный рис. 1. На рис. 2 обозначено местоположение БС - точка O, MC - точка A и местоположение мешающих станций M1...M6.

Длины отрезков M1-O, M2-O, ...M6-O равны D. Радиус внутренней окружности OA - радиус соты R_0 . Очевидно, длина M1-A равна расстоянию до M1, длина M2-A равна расстоянию до M2 и т.д.

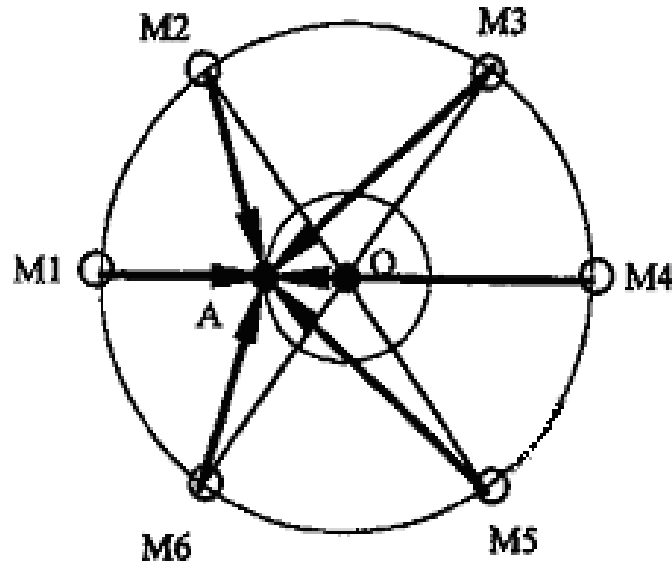


Рис.2

По рис.2 определяем

$$R_1 = D - R_0; \quad R_2 = \sqrt{D^2 + R_0^2 - DR_0}; \quad R_3 = \sqrt{D^2 + R_0^2 + DR_0}$$

Подставив сюда (1) и (2), запишем:

$$R_1 = (q - 1) R_0; \quad (3, a)$$

$$R_2 = \left(\sqrt{q^2 - q + 1} \right) R_0; \quad (3, б)$$

$$R_3 = \left(\sqrt{q^2 + q + 1} \right) R_0 \quad (3, в)$$

$$R_4 = (q + 1) R_0 \quad (3, г)$$

$$R_5 = R_3 \quad (3, д)$$

$$R_6 = R_2 \quad (3, е)$$

Мощности сигналов, приходящих на МС представим в виде

$$P_c = K_o R^{-n},$$

приняв $R = R_0$ для своего сигнала и $R = R_J$ для J -ого мешающего сигнала

Если энергетические параметры БС в сети одинаковы, то отношение медианной мощности J -ого мешающего к медианной мощности своего сигнала

$$\beta_J = \left(R_J / R_0 \right)^{-n}, \quad (4)$$

при значениях n , указанных выше (например, $n = 2$; 3 или 4).

При нескольких мешающих сигналах на МС воздействует суммарная помеха, медианная мощность которой равна сумме медианных мощностей отдельных

сигналов. Медианное отношение сигнал- интерференция

$$SIR = -10\lg\left(\sum_{j=1}^m \beta_j\right) = 10\lg\left(\frac{R_0^{-n}}{\sum_{j=1}^m R_j^{-n}}\right), \text{ дБ} \quad (5)$$

где m - число мешающих сигналов.

По (5) можно найти усредненное медианное отношение сигнал-интерференция. Замирания сигналов не учтены.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Нарисовать кластер заданной размерности N и составить частотный план для однородной модели кластера со всенаправленными антеннами БС для конкретного стандарта.

3. Рассчитать расстояние между БС с одинаковыми частотами при заданных N и радиусе соты R_0

4. Для этой же модели кластера рассчитать медианное значение SIR, для нескольких кластеров при N =3, 7, 13, 19, 21.

6. Принять N=3 в заданиях с нечетными номерами и N=7 - с четными.

В отчете записать:

- расчетные формулы для определения параметров
- численные значения входящих величин и их размерность
- результаты расчета
- требуемые чертежи и рисунки
- комментарии.

Исходные данные для расчетов даны в **таблице 1** Индивидуальный номер задания M определяется по двум последним цифрам номера студенческого билета YZ: $M = YZ - 15k$, $k = 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6$. Например, если номер студенческого билета заканчивается цифрами 97, то $M = 97 - 15 \times 6 = 7$.

Таблица 1 – Варианты расчета

Вариант	R_0 , км
1	2
2	5
3	7
4	10
5	25
6	3
7	6
8	8
9	12

10	30
11	4
12	9
13	10
14	15
15	25

7. Литература

Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов / В. П. Ипатов, В. К. Орлов, И. М. Самойлов, В. Н. Смирнов; под. ред. В.П. Ипатова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2003. - 272 с.

Андрианов В. И., Соколов А. В. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи. — СПб.:БХВ-Петербург; Арлит. 2001. — 400 с.: ил.

Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 2 - Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Катунин Г. П., Мам-чев Г. В., Попантонопуло В. Н., В. П. Шувалов; под ред. профессора В. П. Шувалова. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004.-672 с.: ил.

Дьяконов В.П., Смердов В.Ю. Мобильные телефоны и коммуниторы. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003 – 384 с

Маковеева М.М. Системы радиосвязи с подвижными объектами. М.: Московский технический университет связи и информатики. Методическое пособие. 2002. 60 с.