

УДК 621.396

К.А. Спорышев, А.М.Ткачев

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

ВНУТРИСИСТЕМНЫЕ ПОМЕХИ В СОТОВОЙ СВЯЗИ

Проведен анализ существующих внутрисистемных помех в сотовой связи и методов их компенсации. Получены аналитические выражения для оценки уровня помех в сотовой связи.

внутрисистемные помехи, сотовая связь, методы компенсации

Постановка задачи

Создание систем массовой радиосвязи с большим числом подвижных абонентов, большой пропускной способностью и высоким качеством приема сообщений возможно только при использовании сотового принципа построения системы связи. В настоящее время ведется интенсивное внедрение сотовых сетей связи (ССС). Соответственно возрастает роль систем связи, требования к качеству передачи информации, пропускной способности, надежности работы [1 – 3].

В данной статье рассмотрены внутрисистемные помехи и меры по их ослаблению.

Основной материал

Зона обслуживания СССР делится на большое число малых рабочих зон или сот в виде шестиугольников, и с помощью статистических законов распространения радиоволн определяются их допустимые размеры и расстояния до других зон, в пределах которых выполняются условия допустимого взаимного влияния.

Расстояние до ячеек, в которых могут быть использованы одни и те же рабочие частоты, зависит от условий распространения радиоволн, допустимого уровня помех и числа радиостанций, расположенных вокруг данной ячейки. Считается допусти-

мым, чтобы в сотовой структуре частоты повторялись через две ячейки (рис. 1).

При одновременной работе нескольких передатчиков на одной частоте, а также на частотах соседних каналов возникают внутрисистемные помехи, уровень которых зависит от трафика. Одним из важнейших достоинств ССС является высокая эффективность использования выделенного частотного спектра, достигаемая путем повторного применения одних и тех же частот в различных ячейках системы, что приводит к появлению внутриканальной помехи. Базовые станции (БС), на которых допускается повторное использование выделенного набора частот, разделяются между собой защитным интервалом D (рис. 1).

Задав отношение сигнал/шум, равное 18 дБ или 63,1, можно записать:

$$\frac{C}{N+I} = \frac{C}{N + \sum_{i=1}^M I_i} = 63,1,$$

где C – уровень сигнала; N – уровень шума; I_i – уровень помехи от i -й ячейки; M – количество ячеек, использующих ту же частоту, что и данная сота, удаленных на расстояние D от нее.

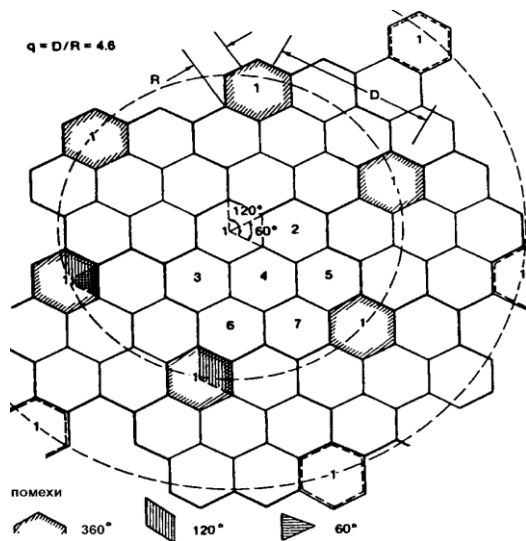


Рис. 1. Внутриканальные помехи в семисотовой системе при использовании всенаправленных и секторных антенн

Обычно уровень внутриканальной помехи намного больше уровня шума, поэтому величиной N можно пренебречь. Приняв потери распространения пропорциональными R^{-4} , для семисотовой модели ($M=7$) получим:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{i=1}^6 I_i} = \frac{R^{-4}}{6(D-R)^{-4}} \geq 63,1.$$

Это неравенство верно при $D/R \geq 5,4$. R – радиус соты. Отношение $q = D/R$ называется фактором внутриканального ослабления.

Подавление внутриканальной интерференции в сотовой системе всегда является основной проблемой. В связи с этим может быть рассмотрен ряд методов, таких как (1) увеличение разделения между двумя одноканальными сотами, (2) использование направленных антенн на базовых станциях, или (3) снижение высоты антенны на базовой станции. Первый метод нецелесообразен по той причине, что при увеличении числа сот с повторным использованием частот эффективность системы, которая прямо пропорциональна числу каналов на соту, уменьшается. Третий метод не рекомендуется, т.к. ослабляет уровень приема в мобильном блоке. Метод 2 является приемлемым подходом, особенно если число сот с повторным использованием частоты фиксировано. При этом сохраняется то же число радиоканалов, что и в семисотовой системе, но сота делится радиально по секторам. Другие методы уменьшения внутриканальной интерференции – наклон ДН антенны, выбор положения БС.

Для иллюстрации худшего случая на рис. 2, а показаны две одноканальные соты. Мобильный блок в позиции E будет принимать больший уровень помех в нижней части заштрихованного сектора соты. Это происходит потому, что мобильный приемник принимает самый слабый сигнал от собственной соты, но очень сильную помеху от мешающей соты.

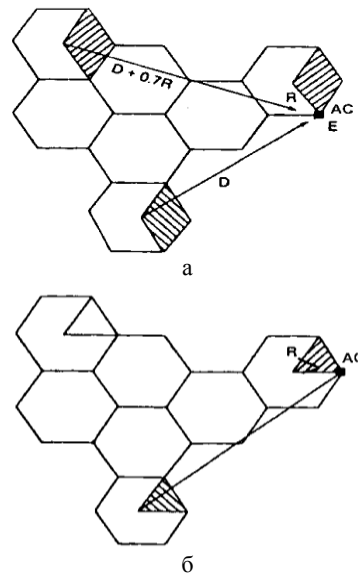


Рис. 2. Иллюстрации худшего случая

При трехсекторном разделении помеха действует только в одном направлении, потому что отношение прямое/обратное излучение направленной антенны базовой станции соты составляет не менее 10 дБ. Число мешающих сот уменьшается с шести до двух. Худший случай C/I появляется, когда мобильный блок находится в позиции E , где указано расстояние между мобильным блоком и двумя интерферирующими антеннами. Величина C/I может быть получена из следующего выражения:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{(D+0,7R)^{-4} + D^{-4}} = \frac{1}{(q+0,7)^{-4} + q^{-4}}.$$

Для $q = 5,4$ $C/I = 27,2$ дБ. Таким образом, использование секторной направленной антенны может улучшить отношение сигнал/интерференция, т.е. уменьшить внутриканальную помеху. Однако, в действительности, из-за неровного контура поверхности местности и неточного места расположения базовой станции C/I может быть на 6 дБ меньше в области плотного трафика.

Можно разделить соту на 6 секторов, используя шесть направленных антенн с углом раскрытия 60° , как показано на рис. 2, б. В этом случае только один источник внутриканальной помехи действует в каждом секторе (рис. 1). Следовательно, отношение сигнал/интерференция будет следующим:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{(D+0,7R)^{-4}} = (q+0,7)^4.$$

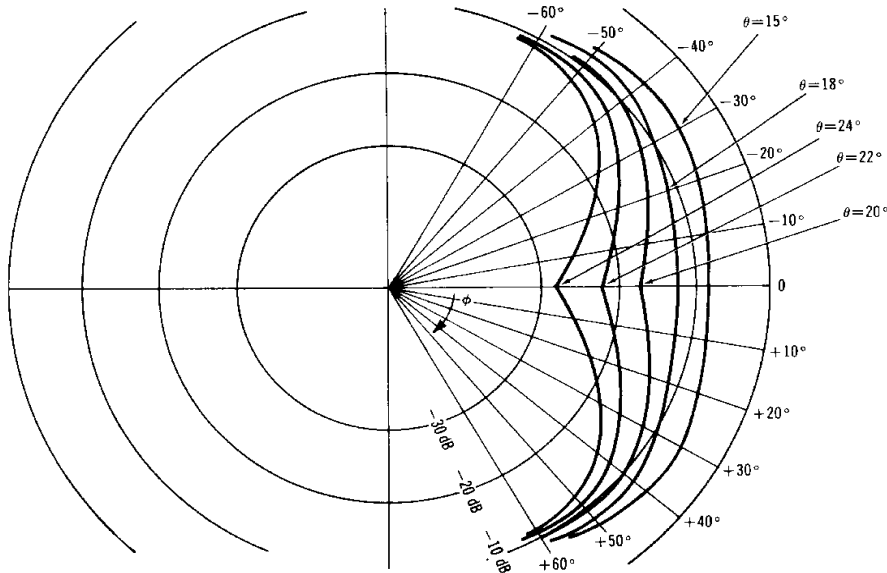


Рис. 3. Вырез на горизонтальной ДН при наклоне антенны вниз на угол θ

Межканальная помеха включает в себя интерференцию следующего канала (канала, следующего за каналом обслуживания) и интерференцию соседнего канала (находящегося на расстоянии более чем одного канала от канала обслуживания). Межканальная помеха может быть устранена на основе назначения каналов, выбора характеристик фильтров и уменьшения помехи типа ближний/дальний прием.

Интерференция следующего канала, воздействующая на мобильный блок, не может быть вызвана передатчиками на базовой станции соты, но может появляться в базовых станциях других сот. Кроме того, мобильный блок, начиная вызов по каналу управления в соте, может вызвать интерференцию со следующим каналом управления на базовой станции другой соты. Методы для уменьшения интерференции следующего канала используются на приемном конце. Характеристики фильтра канала: наклон в речевом диапазоне 6 дБ/окт, а вне речевого

диапазона $q = 5$, $C/I = 31,4$ дБ, что показывает дальнейшее уменьшение внутриканальной помехи.

Диаграмма направленности антенны, полученная в плоскости $x-y$ после наклона антенны, показана на рис. 3.

Когда центральный луч наклонен вниз на угол θ , то нецентральный луч наклонен вниз на меньший угол, поэтому наибольшее ослабление получается для $\theta = 0$. ДН антенны обслуживающей соты должна быть повернута по часовой стрелке на 10° , чтобы вырез был направлен прямо на одноканальный сектор соты. Угол наклона антенны θ может быть выбран в диапазоне от 22 до 24° , чтобы увеличить отношение сигнал/интерференция дополнительно на $7 - 8$ дБ в одноканальной соте. Но в 19° секторе обслуживающей соты уровень сигнала также ослабляется. Использование достаточной мощности передатчика может исправить данную ситуацию.

диапазона -24 дБ/окт. Если сигнал интерференции следующего канала сильнее 24 дБ, он будет интерферировать с желаемым сигналом. Каждой базовой станции соты присваивается фиксированный набор обслуживаемых каналов.

По причине постоянного передвижения транспортных средств некоторые мобильные блоки находятся вблизи базовой станции соты, а некоторые удалены. Близко расположенный мобильный блок излучает сильный сигнал, который вызывает интерференцию смежного канала (рис. 4, а). В данной ситуации интерференция может появиться только на приемном конце на базовой станции соты. Все частотные каналы распределяются по K сотам, каждая сота имеет только $1/K$ от всех частотных каналов. Вопрос заключается в разработке схемы частотного менеджмента для корректного присвоения K наборов частотных каналов, что решает проблему, описанную выше.

Интерференция смежного канала может возникнуть между двумя различными системами сотовой связи. В этой ситуации интерференция смежного канала может возникнуть как в мобильном блоке, так и на базовой станции.

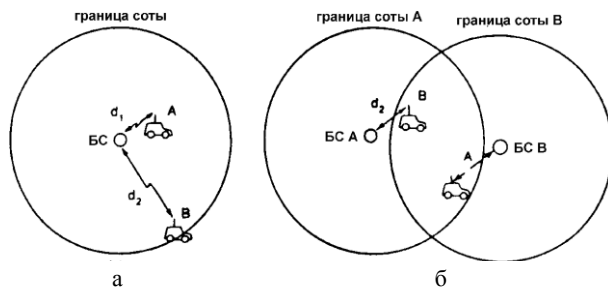


Рис. 4. Интерференция типа ближний/дальний прием

Например, мобильный блок А может быть расположен на границе его собственной соты А в системе А, но очень близко к соте В системы В, как показано на рис. 4, б. Другая ситуация может возникнуть, если мобильный блок В будет на границе соты В системы В очень близко к соте А системы А. Сплошная стрелка показывает, что интерференция может возникнуть на базовой станции соты А, а пунктирная стрелка показывает, что интерференция может возникнуть в мобильном блоке А. Конечно, аналогичная интерференция будет на базовой станции соты В и в мобильном блоке В.

Таким образом, частотные каналы обеих сот двух систем должны быть скоординированы по частотным диапазонам. Интерференция основана на отношении расстояний

$$\frac{C}{I} = \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^{-\gamma},$$

где γ – угол наклона кривой потерь распространения. При $d_0 = 10$ км; $2^{-(C/I)/L} (B/2) = 5,34B$, $d_1 = 0,5$ км, $\gamma = 4$ получим $C/I = -64$ дБ. Этот вид интерференции может быть уменьшен только частотным разделением с помощью узкополосного фильтра.

Общую формулу вычисления частотного разделения ΔF для предотвращения данного типа помехи можно записать в виде

$$\Delta F = 2^{G-1} B,$$

$$G = \frac{\gamma \lg(d_0/d_1) + (C/I)_0}{L},$$

$$\gamma \lg(R/d) > 70 \text{ дБ},$$

где B – ширина частотного диапазона одного канала; $(C/I)_0$ – отношение сигнал/помеха для уверенного приема.

Возможен еще один нежелательный эффект из-за большой разницы уровней принимаемых БС сигналов. Типовые предварительные усилители имеют диапазон линейности около 70 дБ, причем нижняя граница линейного диапазона рассчитывается так,

чтобы обеспечить усиление сигнала, приходящего с границы соты. Поэтому сигнал от АС, находящейся на расстоянии меньше d , при котором вызовет насыщение усилителя и появление нелинейных искажений.

Продукты интермодуляции могут попасть на другой канал. Следовательно, ближний мобильный блок может на базовой станции вызвать интерференцию с дальним мобильным блоком путем интермодуляции в усилителе на базовой станции и просачивания в сигнал от дальнего мобильного блока, принимаемый на этой же базовой станции.

Уменьшение уровня мощности, если это возможно, всегда является лучшей стратегией. Преимущества от управления уровнем мощности следующие:

1. Управление мобильным уровнем передаваемой мощности.

2. Управление уровнем передаваемой мощности базовой станции. Когда принимаемый от мобильного блока сигнал очень силен, необходимо уменьшить уровень передаваемой мощности этого канала на базовой станции и в то же время понизить уровень передаваемой мощности от мобильного блока.

Выводы

Подавление внутрисистемных помех в сотовой системе всегда является основной проблемой. Для подавления внутриканальной помехи предлагается использование направленных антенн на базовых станциях и наклон ДН антенны.

Межканальная помеха может быть устранена на основе назначения каналов, выбора характеристик фильтров и уменьшения помехи типа ближний/дальний прием за счет частотного разделения с помощью узкополосного фильтра и регулирования уровня мощности передатчиков. При наличии двух различных ССС частотные каналы обеих сот двух систем должны быть скоординированы по частотным диапазонам.

Список литературы

1. Алешин А.А., Варакин Л.Е. Опыт эксплуатации и перспективы развития сотовых систем подвижной связи. // *Зарубежная электроника*. – № 12. – 1986. – С. 45-67.
2. Левин Р.Е. Подвижная радиосвязь: от аналоговых систем к цифровым // *Электросвязь*. – № 2. – 1992. – С. 134-138.
3. Пышкин И.М., Дежурный И.И., Талызин В.Н., Чвилев Г.Д. Системы подвижной радиосвязи / Под ред. И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1986. – 368 с.

Поступила в редколлегию 20.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.