

Зельманов Самуил Соломонович

Московский технический университет связи и информатики (Волго-Вятский филиал).

E-mail: zelmanss@yandex.ru

603011, г. Нижний Новгород, ул. Менделеева, 15.

Тел.: 88312457505.

Zelmanov Samuil Solomonovich

Moscow Technical University of Communication and Information Sciens (Volgo-Vyatskiy Branch).

E-mail: zelmanss@yandex.ru.

15, Mendeleev street, Nizhny Novgorod, 603011, Russia.

Phone: +78312457505.

УДК 621.396

Ю.М. Туляков

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОТОВОЙ И «ШИРОКОЗОНОВОЙ» СИСТЕМ СВЯЗИ

Дается оценка эффективности дополнения сотовых систем «широкозонными» (радиальными) наземными системами связи по критерию пространственной надежности связи с заданной помехоустойчивостью. Определяется методика оценки повышения пространственной надежности за счет такого дополнения.

Помехоустойчивость и надежность связи; сотовая и радиальная связь; вероятность ошибки; интегральная функция распределения вероятности случайной величины.

Yu.M. Tulyakov

EFFICIENCY OF INTERACTION OF THE CELLULAR COMMUNICATION SYSTEM AND SYSTEM WITH THE BIG RADIUS OF ACTION

The estimation of efficiency of the cellular systems added with radial systems of communications, is made. Criterion of an estimation is spatial reliability of communication with the specified noise stability. The technique of an estimation of increase of spatial reliability at the expense of such addition is defined.

Noise stability and reliability of communication; Cellular and radial communication; Probability of an error; Integrated function of distribution of probability of a random variable.

Сотовые системы подвижной связи обладают рядом преимуществ по сравнению с «широкозонными» наземными системами, строящимися в основном на радиальных или много радиальных принципах. При радиальном построении системы связи базовые станции (БС) работают синхронно с одинаковыми сигналами, каждая из которых обслуживает свою «радиальную зону». Примерами такого способа могут служить системы персонального радиовызова (пейджинг). В таких системах стараются увеличить зону действия каждой БС, например, за счет увеличения мощности ее радиопередатчика, повышения чувствительности радиоприемника (при двусторонней связи) и высоты подвеса антенн.

Из-за того, что все абоненты находятся в такой единой зоне, абонентские трафиковые возможности таких систем весьма ограничены, чего нельзя сказать о системах сотовой связи, в которых ограниченные размеры зоны действия БС (соты), работающих с разными сигналами (или по частоте, или по форме), ограничены, главным образом, способностью обслужить (пропустить трафик) необходимого количества абонентов.

Несмотря на такое явное преимущество сотовых систем, особенностью их является отсутствие 100 %-го охвата связью всей территории обслуживаемого региона (например, области). Скорее всего, это связано не с техническими проблемами, а с коммерческим подходом операторов сотовой связи – охватить связью, главным образом, многонаселенные участки регионов и транспортные магистрали.

Для использования достоинств и исключения недостатков этих двух видов систем в [1] предлагается дополнить сотовые системы связи радиальными системами. Зона действия радиальной системы «накладывается» на зоны действия (соты) сотовой связи и тем самым восполняет своей связью участки неохваченные связью сотовой системы. Причем в зонах, где присутствует и та и другая связь, приоритет отдается сотовой связи. Радиальная система может работать на основе протоколов и алгоритмов сотовой связи, как БС с «сотой», «наложенной» на сотовую сеть.

Рассмотрим эффективность такого взаимодействия сотовой и радиальных систем по основному показателю систем подвижной связи – полноте покрытия ею обслуживаемого региона. Количественно покрытие региона связью можно характеризовать пространственной надежностью – S [2]. Она показывает, какой процент территории региона охвачен связью с заданной помехоустойчивостью (заданным качеством). Точнее, эту надежность назвать «пространственной надежностью с заданной помехоустойчивостью». Так, при $S = 100\%$ имеет место полное покрытие региона. Сравнение зон охвата связью различных операторов сотовой связи для различных регионов показывает, что существующая пространственная надежность достигает от 60 % и максимум до 75 %.

На рис. 1 упрощенно показаны в абстрагированном виде зоны (площади) действия сотовой и радиальной систем: пунктирная линия (окружность) – граница зоны действия радиальной системы с площадью этой зоны – $P_{рс}$; сплошными линиями – границы зон действия (сот) сотовой связи с суммарной площадью – $P_{сс} = \sum_{i=1}^n P_{БСi}$, с n числом базовых станций (БС), каждая из которых обслуживает свою зону площадью $P_{БСi}$ (это условие практически сохраняется и для случая, когда БС сотовой связи может секторно переориентировать направление своего действия). Заштрихованные участки показывают зоны, в которых радиальная система может дополнить отсутствие сотовой связи, площадью – $P_{доп}$. Из рис. 1 видно, что

$$P_{доп} = P_{рс} - P_{сс}. \quad (1)$$

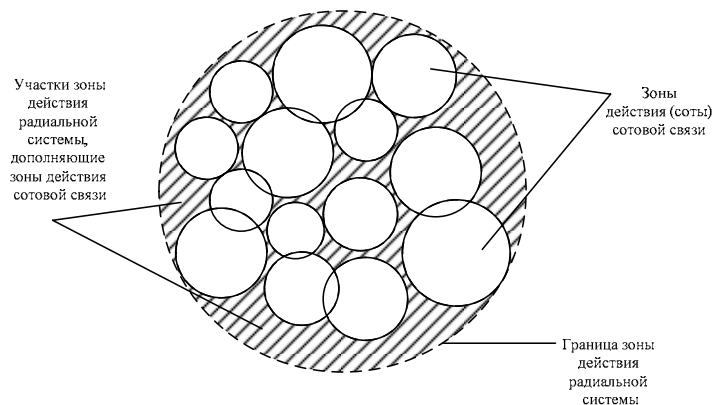


Рис. 1. Упрощенное представление зон действие сотовой связи и радиальной системы, дополняющей сотовую сеть

Пространственная надежность для заданной площади обслуживаемого региона $P_{\text{рег}}$ соответственно определится:

$$S_{\text{pc}}=100(P_{\text{pc}}/P_{\text{рег}}); \quad S_{\text{cc}}=100(P_{\text{cc}}/P_{\text{рег}}) = 100[(\sum_{i=1}^n P_{\text{BCi}})/P_{\text{рег}}], \% . \quad (2)$$

Повышение надежности за счет радиальной системы определится

$$S_{\text{доп}} = S_{\text{pc}} - S_{\text{cc}} = 100\{(P_{\text{pc}}/P_{\text{рег}}) - [(\sum_{i=1}^n P_{\text{BCi}})/P_{\text{рег}}]\}, \% . \quad (3)$$

Заметим, что радиальная и даже много радиальная (радиально-зонавая) система не всегда покрывает связью всю территорию региона (см. рис.1) в отличие от абстрагированного случая на рис. 2, где $P_{\text{рег}}=P_{\text{pc}}$. Например, при $S_{\text{cc}} = 75\%$ и $S_{\text{pc}}=90\%$ и при условии, что зона действия радиальной системы ни на каких участках региона не оказывается меньше зоны действия сотовой связи, получим $S_{\text{доп}} = 15\%$.

Пространственная надежность и ее зависимость от расстояния до БС.

Как указывалось выше, пространственная надежность рассматривается как процент территории зоны обслуживания системой связи, в которой связь осуществляется с заданным качеством, т.е. когда допустимая вероятность ошибки принимаемых сигналов (требуемое отношение сигнал/помеха) сохраняется в заданных пределах. С другой стороны, пространственную надежность можно трактовать по иному, как вероятность наличия (или превышения) требуемого отношения сигнал/помеха в зоне (или участках зоны) действия системы, и такую надежность правильнее назвать, как отмечалось выше, «пространственной надежностью при заданной помехоустойчивости».

В свою очередь пространственная надежность связи зависит от характеристик распространения и флуктуаций уровня сигнала – E_c и заданного минимально допустимого (порогового) уровня сигнала в зоне действия системы – E_{co} , и может быть оценена вероятностью превышения (или равенства) этого порогового уровня уровнем сигнала в канале – p . При известных функциях распределения вероятности для уровня сигнала $W(E_c)$ надежность будет определяться в процентах интегральной функцией

$$S_{\%} = p(E_c \geq E_{\text{co}})100 = 100 \int_{E_{\text{co}}}^{\infty} W(E_c) dE_c, \% . \quad (4)$$

Для подвижной наземной связи наибольшее применение находят радиоволны ОВЧ (очень высоких частот) и УВЧ (ультра высоких частот) диапазонов. Существует ряд моделей, характеризующих уровневую структуру радиоволн этих диапазонов при распространении в различных условиях (в условиях города, открытой равнинной местности и т.д.) [2,3,4,5]. Наиболее сложными условиями распространения радиоволн являются условия распространения в условиях города, которые и возьмем за основу дальнейшей оценки. Такой выбор можно считать вполне оправданным, поскольку он может служить базой для других условий распространения, для которых модели отличаются в основном за счет исключения или изменения отдельных эмпирических и расчетных коэффициентов.

Для условий распространения радиосигналов в условиях города, структура распространения которых представляется сложной многолучевой, надежность связи в зоне действия БС (пространственная надежность) в зависимости от расстояния до БС определяется [2,3,4] в виде

$$S_{\%}(R') = 100 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma/(n-\beta)} \int_{R'}^{\infty} \exp \left\{ - \frac{\left[R' - \left(\frac{E_{1M} - E_{II} - \rho'}{n - \beta} \right) \right]^2}{2[\sigma/(n-\beta)]^2} \right\} dR' = \quad (5)$$

$$= 50 \left\{ 1 - \Phi \left[\frac{R'(n-\beta) - E_{1M} + E_{II} + \rho'}{\sigma} \right] \right\},$$

где $\Phi(x) = (2/\sqrt{2\pi}) \int_0^x \exp(-t^2/2) dt$ – табулированная функция Крампа, E_{1M} – математическое ожидание уровня (в дБ) сигнала (на улицах или в помещениях зданий города) на «единичном» $R = 1$; $R' = 10 \lg R$ (здесь R – расстояние от базовой станции, нормированное относительно единицы измерения длины, например, относительно 1 км); $\sigma/(n-\beta) = \sigma_{R'}$ – среднеквадратическое отклонение распределения $S_{\%}(R')$; σ – среднеквадратическое отклонение для пространственных флуктуаций уровня сигнала и затуханий уровня сигнала при проникновении в помещения зданий, дБ; n – показатель потерь (затухания) уровня поля сигнала, величина которого определяется типом модели, выбранной для оценки распространения радиоволн в условиях города; β – коэффициент, характеризующий интенсивность убывания уровня суммарных радиопомех с ростом R ; $E_{II} + \rho'$ – величины, определяемые из требуемого порогового уровня сигнала $E_{C0} = E_{II} - 10\beta \lg R + \rho'$, дБ, E_{II} – уровень помех, характерный ближней зоне базовой (передающей) станции, дБ, ρ' – отношение сигнал/помеха по мощности (дБ), определяемое для минимально допустимых значений помехоустойчивости (вероятности ошибки принимаемых сигналов) в канале с постоянными параметрами и флуктуационной помехой. Заметим, что величина E_{1M} определяется излучаемой мощностью передатчика, высотой подвеса антенн БС и параметрами выбранной модели распространения радиоволн и в том числе показателем n .

Пространственная надежность при взаимодействии сотовой и радиальной систем. На рис. 2, в качестве упрощенного примера, показаны зоны действия одной базовой станции сотовой связи – БС_{сс} и одной базовой станции радиальной системы – БС_{рс} с совмещенными координатами их расположения. Зона действия БС_{сс} ограничена радиусом $R_{сс}$, определяемым требуемой надежностью – S (например, $S = 90\%$), а зона действия БС_{рс} – радиусом – $R_{рс}$ при такой же надежности S . На рис. 2 видно, что $R_{рс} > R_{сс}$. Объяснение этому является большая излучаемая мощность радиопередатчиков и высоты подвеса антенн БС_{рс} по сравнению с БС_{сс} и как следствие, увеличение величины E_{1M} (см. (5)) радиальной системы, т.е. $E_{1Mрс} > E_{1Mсс}$.

Другой особенностью взаимодействия сотовой и радиальной систем является приоритет работы сотовой системы над работой с радиальной системой в условиях, когда сотовая связь удовлетворяет требуемому качеству (требуемой надежности). Иными словами радиальная система является дополняющей (вспомогательной) для сотовой сети.

С учетом указанных особенностей для случая, показанного на рис. 2,а, рассчитаны по (5) и показаны на рис. 3 графики пространственной надежности для сотовой и радиальной БС в зависимости от нормированного расстояния до БС относительно расстояния $R'_{99\%сс}$ с надежностью 99 % сотовой системы, приведенного согласно (5) к виду $[(n-\beta)R'_{99\%сс}]$. По оси абсцисс откладываются приращения расстояния $[(n-\beta) * (R_{99\%сс} + \Delta R)]$ в масштабе нормирующего расстояния.

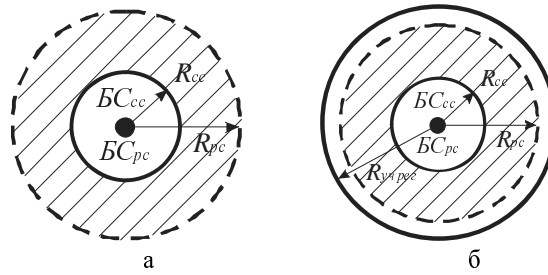


Рис. 2. Зоны действия базовой станций сотовой связи – BC_{cc} и базовой станции радиальной системы – BC_{pc} с совмещенными координатами их расположения: а – без учета доли участка обслуживаемого региона, б – с учетом доли участка обслуживаемого региона радиусом $R_{уч.рег}$

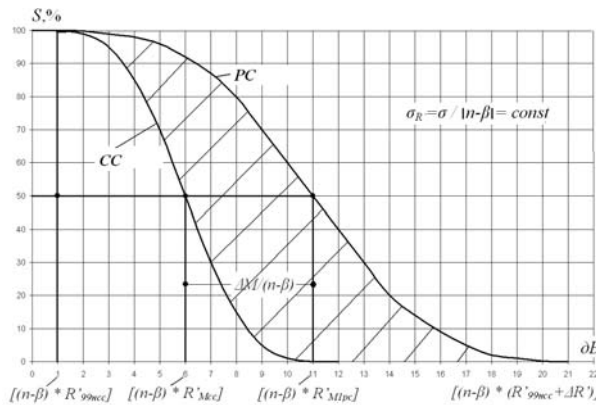


Рис. 3. Пространственная надежность сотовой и радиальных систем (BC) при нормировании расстояния до базовой станции к расстоянию $(n-\beta)R'_{99cc}$ с надежностью $S=99\%$ для сотовой систем

На этой оси также отмечено нормированное расстояние математических ожиданий $[(n-\beta)R_{Mpc}]$ для радиальной системы и $[(n-\beta)R_{Mcc}]$ для сотовой системы. Обе кривые построены для одинакового значения среднеквадратического отклонения распределений надежности $\sigma_{R'} = \sigma / |n-\beta| = \text{const}$. Кажущееся отличие $\sigma_{R'}$ для этих кривых объясняется различием для них масштаба по оси абсцисс, сравните величины математических ожиданий $(n-\beta)R'_{Mcc}$ (при $S=50\%$ для сотовой системы) и $(n-\beta)R'_{Mpc}$ (при $S=50\%$ для радиальной системы).

Сопоставление зависимостей на рис. 3 показывает, что основным параметром, определяющим разницу зависимостей для сотовой и радиальных систем (BC), можно считать их математическое ожидание. Согласно интегральной функции распределения (5) математическое ожидание определяется

$$M = M_{R'} = \frac{E_{1M} - E_{\Pi} - \rho'}{n - \beta}, \quad (6)$$

и изменение E_{1M} от величины E_{1Mcc} до величины E_{1Mpc} изменяет математическое ожидание M на величину

$$\Delta M = \frac{E_{1Mpc} - E_{\Pi} - \rho'}{n - \beta} - \frac{E_{1Mcc} - E_{\Pi} - \rho'}{n - \beta},$$

или

$$\Delta M(n - \beta) = E_{1Mpc} - E_{1Mcc} \tag{7}$$

Для определения величины изменения надежности при изменении математического ожидания от M (с надежностью S_0) до $M + \Delta M$ (с надежностью $S_{\Delta M}$) можно записать

$$\Delta S = S_{\Delta l} - S_0 = p_{\Delta M} - p_0 = \frac{1}{\sigma_{R'} \sqrt{2\pi}} \int_{x_{\Pi}}^{\infty} \exp\left\{-\frac{[x - (M + \Delta M)]^2}{2\sigma_{R'}^2}\right\} dx - \frac{1}{\sigma_{R'} \sqrt{2\pi\sigma}} \int_{x_{\Pi}}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - M)^2}{2\sigma_{R'}^2}\right] dx, \tag{8}$$

где x_{Π} – пороговый уровень сигнала, удовлетворяющий требуемой помехоустойчивости (расстояние от БС, на котором это условие соблюдается), S (без процентов) $\equiv p$ -вероятность, $R' = x$;

Эта зависимость может быть преобразована к виду, основанному на использовании табулированных функций, и позволяет сделать заключение, что величина ΔS зависит от двух переменных ΔM и x_{Π} , и график этой зависимости должен строиться в трехмерных координатах. Чтобы построить график этой зависимости в двумерных координатах (для практически удобного пользования), необходимо одну из переменных принимать как фиксированный параметр. Для этого введем величину $\Delta_{МП} = (\Delta M - x_{\Pi})/\sigma_{R'}$. Тогда будем иметь $\Delta M/\sigma_{R'} = x_{\Pi}/\sigma_{R'} + \Delta_{МП}$ и $x_{\Pi}/\sigma_{R'} = \Delta M/\sigma_{R'} - \Delta_{МП}$. Задаваясь фиксированной величиной $\Delta_{МП}$, определяющую переменную $(\Delta M - x_{\Pi})/\sigma_{R'}$, и изменяя другую переменную $x_{\Pi}/\sigma_{R'}$ с последующим уточнением $\Delta M/\sigma_{R'}$, можно построить график зависимости $\Delta S = F(\Delta M/\sigma_{R'})$.

Параметр $\Delta_{МП}$, в свою очередь, определяет для конкретных значений $(\Delta M - x_{\Pi})/\sigma_{R'}$ предельную (нормирующую) величину надежности S_{Π} . Проведя расчеты величины S_{Π} для задаваемых значений $\Delta_{МП}$, ее можно использовать также как параметр при оценке ΔS , причем как наиболее удобный для практического использования (например, на рис. 3 такой величиной могут быть значения S при нормирующих расстояниях $[(n - \beta)R'_{99н}]$, соответствующих сотовой $[(n - \beta)R'_{99н cc}]$ радиальной $[(n - \beta)R'_{99н pc}]$ систем.

На рис. 4 построено семейство зависимостей $\Delta S = F(\Delta M/\sigma_{R'})$ (для ΔS в процентах) при различных фиксированных, практически полезных, значениях величины S_{Π} . Заметим, что величина x_{Π} , соответствующая R_{Π} , может служить расстоянием до базовой станции, на котором производится оценка надежности связи или осуществляется нормировка этой надежности. Кривая для $S_{\Pi} = 99\%$ может использоваться для случаев, представленных на рис. 3, остальные кривые могут применяться для других практически встречающихся случаев при $S_{\Pi} = 70\%$ и $S_{\Pi} = 50\%$.

Таким образом, полученные результаты позволяют определять увеличение надежности при внедрении радиальной системы в сотовую сеть, за счет сопоставления медианных уровней их сигналов на «единичном расстоянии» от БС E_{1Mpc} и E_{1Mcc} по (7), которые могут легко рассчитываться для принятых моделей распространения радиоволн или определяться путем немногочисленных контрольных измерений уровня электромагнитных волн.

Полезно заметить, поскольку R' в выражении (5) является логарифмом величины R ($R' = 10 \lg R'$), и площадь круга с радиусом R определяется $\Pi = \pi R^2$, то зависимость пространственной надежности от расстояния до базовой станции можно использовать для определения площади зоны действия системы с заданной надежностью или для нахождения доли этой площади относительно площади нормирования с удобной для оценки величиной R_{Π} и площадью $\Pi_{\Pi} = \pi R_{\Pi}^2$ в виде

$\Pi/\Pi_n = \pi R^2/(\pi R_n^2) = R^2/(R_n^2)$ или $(\Pi/\Pi_n)' = 10\lg[R^2/(R_n^2)] = 20\lg(R/R_n)$, дБ. Возможно и использование «обратного» перехода от площади Π к радиусу R , применяя известную взаимосвязь $R = \sqrt{\Pi/\pi}$.

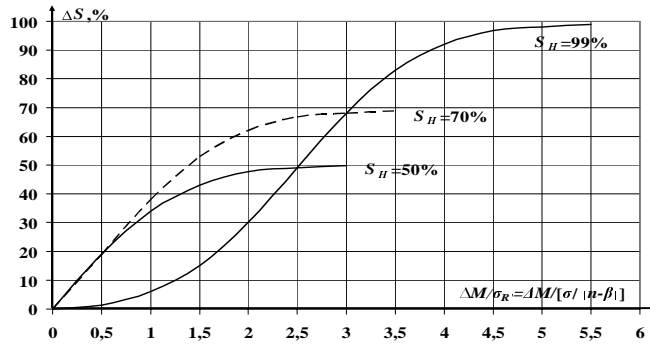


Рис. 4. Изменение (увеличение) надежности при изменениях математических ожиданий уровня сигнала за счет добавления радиальной системы к сотовой

Оценка надежности при действии нескольких БСсс в зоне действия радиальной системы с одной БСрс. Таким образом, для упрощенного варианта рис. 2,а определены все необходимые характеристики оценки и сама методика оценки пространственной надежности радиально - сотовой системы. В реальных возможных ситуациях зоны действия сотовой сети внутри зоны радиальной системы как по количеству, так и по координатам размещения БСсс относительно координат БСрс, отличаются от рассмотренного случая (см. рис. 1) и является более громоздкой задачей. Для наглядности на рис. 5 представлены частные случаи этой задачи.

На рис. 5 показаны два случая: а) – случай с одной БСрс и одной БСсс, с различными координатами их размещения; б) – с тремя «смещенными» БСсс относительно координат одной БСрс. Величины ΔR показывают расстояние смещения координат БСсс от координат БСрс.

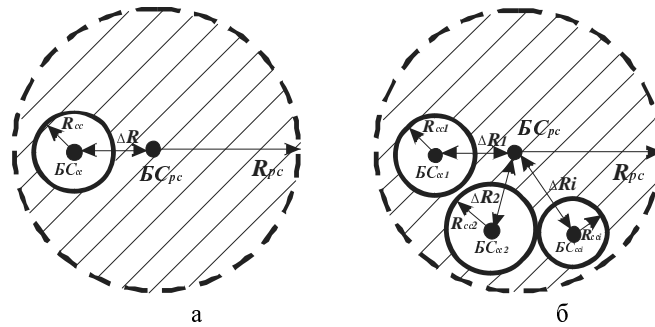


Рис. 5. Зоны действия БСрс и БСсс с различными координатами их размещения: а – для одной БСсс, б – для случая с тремя БСсс

Для использования вышерассмотренной методики необходима коррекция уровня сигнала и величины надежности радиальной системы на расстоянии ΔR , или $\Delta R' = 10\lg \Delta R$, размещения БСсс относительно размещения БСрс. Такая коррекция делается для каждой БСсс с использованием соотношения (5), и затем определяется увеличение надежности $\Delta S = \Delta S_{(\Delta R, R')}$ за счет радиальной системы по мето-

дике, основанной на соотношениях (5) и (8). Возможен дополнительный, для удобства, расчет зависимостей $\Delta S = F(\Delta M / \sigma_R)$, но при этом необходимо учитывать, что подобные рассчитанные зависимости, приводимые на рис. 4, сделаны для изменения величины математического ожидания ΔM , которое сохраняется, а дополнительное изменение надежности происходит за счет ΔR .

Для определения суммарного увеличения надежности ΔS_Σ за счет рассчитанных значений $\Delta S_{(\Delta R^1, R)}$, $\Delta S_{(\Delta R^2, R)}$, $\Delta S_{(\Delta R^i, R)}$ для каждой БСсс проведем оценку на основе площадей зон действия обеих систем. Площади увеличения зоны действия за счет радиальной системы для зоны каждой БСсс в отдельности составят

$$\Delta P_1 = P_{PC} - P_{CC1}; \Delta P_2 = P_{PC} - P_{CC2}; \Delta P_i = P_{PC} - P_{CCi} \text{ и т.д.},$$

где P_{PC} – площадь зоны действия радиальной системы (БСрс),

P_{CCi} – площадь зоны действия каждой БСсс.

Откуда $P_{CC1} = P_{PC} - \Delta P_1$; $P_{CC2} = P_{PC} - \Delta P_2$; $P_{CCi} = P_{PC} - \Delta P_i$.

Тогда суммарное увеличение площади зоны действия при n БСсс будет определяться

$$\Delta P_\Sigma = P_{PC} - (P_{PC} - \Delta P_1 + P_{PC} - \Delta P_2 + P_{PC} - \Delta P_i) = \left(\sum_{i=0}^n \Delta P_i \right) - (n-1)P_{PC}. \quad (9)$$

Поскольку пространственная надежность характеризует размеры зон действия с заданной помехоустойчивостью, то для суммарного увеличения надежности согласно (2) и (3) можно записать

$$\Delta S_\Sigma = \left(\sum_{i=0}^n \Delta S_{(\Delta R^i, R)} \right) - (n-1)S_{PC}. \quad (9')$$

При расчетах следует учесть, как упоминалось выше, что соотношение площадей (их нормированной величины) связано с нормированной величиной радиуса (расстояния) в логарифмическом виде как $10 \lg(P/P_n) = 10 \lg[R^2/(R_n^2)] = 20 \lg(R/R_n)$, дБ.

Результаты расчета по (9') позволяют определить дополнительно созданные участки действия связи, показанные в виде заштрихованных областей на рис. 1 и 5.

Пространственная надежность при добавлении к сотовой сети много радиальной системы. Для много радиальной системы, например, с m количеством БСрс, приведенная выше методика расчета пространственной надежности и ее повышения сохраняется. Только при этом учитывается, что на долю каждой БСрс приходится часть обслуживаемого региона, $S_{БСрс} < 100\%$, (см. рис. 2,б) и увеличение надежности в зоне действия такой БСрс происходит относительно этой величины. С учетом этого условия суммарное повышение пространственной надежности в регионе за счет добавления много радиальной системы будет определяться

$$\Delta S_{\Sigma PC} = \sum_{j=0}^m \Delta S_j, \quad (10)$$

где ΔS_j – увеличение надежности за счет каждой БСрс.

Заключение. Проведенная оценка пространственной надежности связи за счет взаимодействия сотовых и радиальных систем показывает его эффективность за счет повышением пространственной надежности, увеличения зоны действия и качества связи. Для количественного определения повышения пространственной надежности за счет добавления радиальных систем к сотовым системам связи получены необходимые соотношения и даны рекомендации их применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туляков Ю.М. Система сотовой связи. Заявка на изобретение № 2009109960 от 20.03.2009.
2. Туляков Ю.М. Системы персонального радиовызова. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
3. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ / Под ред. У.К. Джейкса: Пер. с англ. / Под ред. М.С. Ярлыкова, М.В. Чернякова. – М.: Связь, 1979. – 520 с.
4. Ли У. Техника подвижных систем связи: Пер. с англ./ Под ред. Пышкина И.М. – М.: Радио и связь, 1985. – 395 с.
5. Милютин Е.Р., Василенко Г.О. Повышение точности расчета ослабления поля с помощью калибровки и цифровых карт местности // Электросвязь. – 2004. – № 2. – С. 38-40.

Туляков Юрий Михайлович

Московский технический университет связи и информатики (Волго-Вятский филиал).

E-mail: yu.m.tulyakov@rambler.ru.

603006, г. Нижний Новгород, ул. Ошарская, д. 15, кв. 15.

Тел.: 89107901111.

Tulyakov Yuri Mihaiylovich

Moscow Technical University of Communication and Information Sciens (Volgo-Vyatskiy Branch).

E-mail: yu.m.tulyakov@rambler.ru.

15-15, Osharskaja street, Nijniy Novgorod, 603006, Russia.

Phone: +79107901111.