

УДК 621.372-758.38:613.168

**ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТОПОЛОГИИ
СОТОВОЙ РАДИОСЕТИ НА ЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ**

В.И. МОРДАЧЕВ, М.Н. ЯЦЫНОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь,**Поступила в редакцию 18 января 2006*

Приведены результаты анализа влияния случайности территориального размещения базовых станций сотовой системы радиосвязи на возможности обеспечения ее экологической безопасности на этапе первичного планирования сети. Обоснована необходимость увеличения пространственной плотности базовых станций сети в 1,5...2 раза для снижения риска появления областей с повышенным уровнем электромагнитного излучения абонентских станций.

Ключевые слова: сотовая радиосвязь, экология, топология, случайность

Введение

Сотовый принцип построения сетей мобильной связи предполагает регулярность структуры сети, в идеальном случае элементарные ячейки которой имеют вид правильных шестиугольников с размещенными в центре ячеек базовыми станциями [1]. Экологическая безопасность такой сети достигается ограничением размера (радиуса описанной окружности) ячеек некоторым значением R_{max} , при котором мощность электромагнитного излучения абонентских станций (ЭМИ АС) при размещении абонентов у границ зон обслуживания базовых станций (БС) сети ограничена предельно допустимым значением [2–5]. В действительности нерегулярность рельефа городской застройки, транспортных коммуникаций и растительности, наличие водоемов и другие факторы препятствуют строгому соблюдению регулярности структуры сети, что на отдельных участках обслуживаемой территории приводит к локальным нарушениям экологической безопасности сотовой радиосети. Происхождение вынужденных нарушений регулярности пространственной структуры сотовой радиосети в процессе ее планирования иллюстрируется рис. 1, 2.

На начальной стадии планирования сети в условиях крупного города, исходя из ряда соображений (планируемый трафик, планируемый объем инвестиций и т.п.), определяются требуемое число сайтов и первичная гипотетическая регулярная структура сети (рис. 1). Далее, в процессе выбора и согласования в установленном порядке реального места размещения БС каждого сайта с учетом возможности размещения БС на ближайших к гипотетическим центрам сайтов зданиях и сооружениях либо возможности землеотвода для строительства антенных опор происходит смещение фактических мест размещения БС по отношению к гипотетическим центрам сайтов (например, в направлениях, указанных стрелками на рис. 1). В результате регулярность пространственной структуры сети нарушается; зоны ответственности БС теряют правильную (в геометрическом смысле) форму (рис. 2). Кроме того, у границ зон ответственности отдельных БС появляются области, удаленные от обслуживающих эти области БС на расстояния, превышающие величину R_{max} (выделены жирными замкнутыми линиями на

рис. 2); в этих областях требуется использование повышенных уровней ЭМИ АС для обеспечения нормального качества связи, что ухудшает экологичность сети.

Таким образом, размещение БС сети приобретает случайный характер, что сказывается на ее внутрисистемной электромагнитной совместимости (ЭМС), в первую очередь — на случайности отношения "сигнал/помеха" (ОСП) при приеме сигнала абонентскими станциями, и, как следствие, — на ухудшении качества предоставляемых сетью услуг. Компенсация этого ухудшения производится автоматически увеличением мощности ЭМИ отдельных АС [2], что также ухудшает экологическую безопасность сети.



Рис. 1. Начальная стадия планирования сети, на которой оцениваются требуемое число сайтов и формируется первичная гипотетическая регулярная структура сети



Рис. 2. Зоны ответственности и локальные области с повышенным уровнем мощности ЭМИ АС после уточнения возможных мест установки БС

Анализу влияния случайности размещения БС на некоторые характеристики сотовой сети, касающиеся качества обслуживания абонентов и внутрисистемной ЭМС, посвящены работы [6–8], однако вопрос влияния случайности размещения БС на характеристики сотовых радиосетей исследован недостаточно. На практике обусловленная данной причиной существенная нерегулярность пространственной структуры сети часто делает невозможным применение традиционного кластерного подхода к частотному планированию ее городских фрагментов, равно как и к оценке ожидаемого уровня качества связи и уровня экологической безопасности сети.

Исходные модели и ограничения

При оценке влияния на экологическую безопасность сотовой сети случайности ее пространственной топологии могут быть использованы следующие модели и предположения, а также результаты [6–8]:

1. Поскольку центр ячейки является естественным центром группирования фактических мест размещения БС, естественно использовать следующие вероятностные модели параметров пространственного размещения БС:

нормальное распределение отклонения БС от гипотетического центра ячейки при равномерном распределении азимута отклонения БС;

отношение σ/R_{max} среднеквадратического отклонения положения БС от гипотетического центра ячейки к радиусу ячейки как характеристику случайности размещения БС в сети.

2. В силу естественного стремления к регуляризации структуры сети наибольший практический интерес представляет случай $0 \leq \sigma/R_{max} \leq 0,5$.

3. Величина R_{max} определяется исходя из требований к экологической безопасности сотовой радиосети с регулярной пространственной структурой [2–5].

4. При выполнении обобщенных оценок можно пренебречь случайностью условий РРВ за счет влияния отдельных элементов морфологии подстилающей поверхности (затенения и

переотражения зданиями и элементами рельефа, затенения отдельными очагами растительности и т.п.); оценку производим в обобщенной форме, используя гиперболическую модель РРВ, в показателе степени которой интегрально учтено влияние этих факторов на затухание радиоволн между АС и БС.

5. На начальном этапе можно ограничиться оценками применительно к сотовой сети, реализуемой с использованием трехсекторной структуры с размерностью кластера $N=4$ как наиболее распространенного при построении радиосетей GSM-900/1800 в условиях ограниченности выделяемого сети радиочастотного ресурса [3].

6. При анализе обоих вышеназванных факторов, ухудшающих экологическую безопасность сети при нарушении регулярности ее пространственной структуры — появления зон с повышенным уровнем ЭМИ АС и ухудшения внутрисетевой ЭМС (ухудшения ОСП) в местах размещения АС взаимосвязью этих факторов в первом приближении можно пренебречь, поскольку первый фактор проявляется только у границ зон ответственности БС, а со вторым фактором следует считаться в пределах всей зоны ответственности БС.

Результаты анализа

В рамках изложенных выше ограничений для различных уровней случайности размещения БС в сети получены следующие семейства кривых, обеспечивающие возможность оценки влияния случайности (нерегулярности) пространственной структуры сотовой радиосети на ее экологическую безопасность:

1. Функции распределения вероятности значений отношения S_D/S_0 площади S_D части зоны ответственности, удаленной от БС на расстояния, превышающие R_{max} (выделены на рис. 2), к площади зоны ответственности БС (рис. 3).

2. Кривые вероятности превышения в сети заданного отношения "сигнал/помеха" Q_{CL} при $0,01 \leq \sigma/R_{max} \leq 0,5$ для кластера размерности $N=4$ с трехсекторными антеннами, полученные для известных ограничений [7] на анализируемые области в пределах зон ответственности БС (рис. 4).

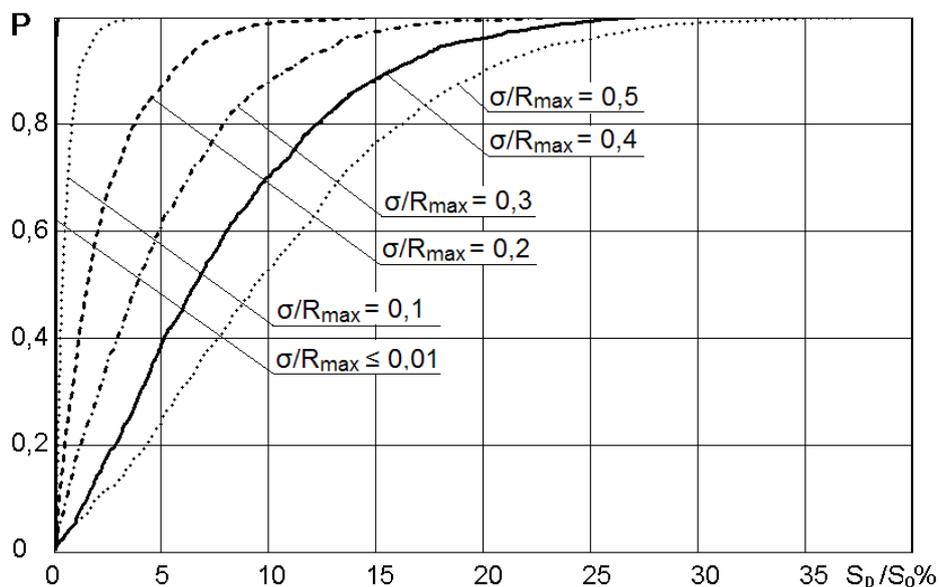


Рис. 3. Функция распределения вероятности значений отношения площади S_D части зоны ответственности, удаленной от БС на расстояния, превышающие R_{max} , к площади зоны ответственности БС

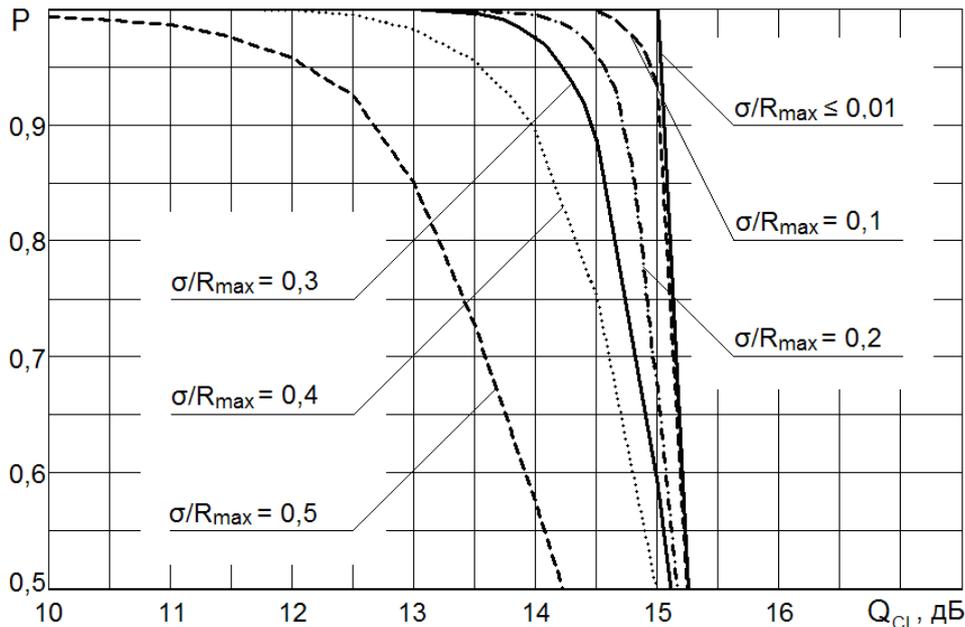


Рис. 4. Вероятности превышения в сети заданного отношения "сигнал/помеха" при различном уровне случайности размещения БС в сети для кластера размерности 4 с трехсекторными антеннами

Анализ этих кривых свидетельствует о следующем:

1. Суммарная площадь областей с повышенным уровнем ЭМИ АС могут достигать 20–30% совокупной площади покрытия сотовой радиосети при обычном уровне значимости (доверительной вероятности) $P=0,95-0,98$, используемом при проектировании сотовых радиосетей. В этих условиях ликвидация областей с повышенным уровнем ЭМИ АС может быть достигнута при первичном планировании сети увеличением в 1,2–1,5 раза пространственной плотности БС (уменьшением величины R_{max} в 1,1–1,25 раза по сравнению со значением, необходимым для регулярной пространственной структуры).

2. При указанном уровне значимости ухудшение ОСП, обусловленное случайностью размещения БС, может достигать 2–5 дБ. В соответствии с [2] необходимое увеличение мощности ЭМИ АС для компенсации ухудшения качества связи из-за влияния этого фактора для трехсекторной структуры сети с кластером размерности $N=4$ может достигать 1,5–3,0 дБ. Компенсация влияния данного фактора на ухудшение экологической безопасности сотовой сети может быть достигнута следующими способами:

увеличением размерности кластера при ее частотном планировании и, как следствие, при $\sigma/R_{max} \geq (0,4-0,5)$ возможным отказом от алгоритмов частотного планирования сети, основанных на ее регуляризации;

дополнительным по сравнению с указанным выше в п. 1 уменьшением величины R_{max} в 1,1–1,2 раза по сравнению со значением, необходимым при $0,3 \leq \sigma/R_{max} \leq 0,5$ в силу известной связи между долей мощности ЭМИ АС, поглощаемой телом человека, и величиной R_{max} [2].

Заключение

Нарушение регулярности пространственной структуры сотовой радиосети, обусловленное имеющимися ограничениями (технического, экономического, экологического характера) в пространственном размещении БС приводит к ухудшению экологической безопасности сети. Это ухудшение обусловлено, с одной стороны, появлением локальных удаленных от БС областей с повышенным уровнем ЭМИ АС и, с другой стороны, появлением локальных областей с повышенным уровнем внутрисетевых помех (пониженным ОСП). Компенсация ухудшения экологической безопасности сотовой радиосети, обусловленного случайностью размещения БС, может быть достигнута увеличением пространственной плотности базовых станций сети в

1,5–2 раза либо увеличением размерности кластера при ее частотном планировании (или отказ от кластерного частотного планирования сети) в сочетании с увеличением пространственной плотности базовых станций сети в 1,2–1,5 раза.

INFLUENCE OF THE CELLULAR RADIO NETWORK SPATIAL TOPOLOGY RANDOMNESS OF ON ITS ECOLOGICAL SAFETY

V.I. MORDACHEV, M.N. YATSYNOVICH

Abstract

Results of the analysis of cellular radio communication network base stations territorial accommodation randomness influence on its ecological safety at stages of initial planning of a network are presented. Necessity of a 1,5...2 times increase of a network base stations spatial density for reduction of risk of appearance of areas with the increased levels of mobile telephones electromagnetic radiation is proved

Литература

1. *Mehrotra A.* Cellular Radio: Analog and Digital Systems. Artech House Publishers, Boston; London, 1994.
2. *Mordachev V.* // 17th International Wroclaw Symposium And Exhibition on EMC, Poland, Wroclaw, June 29-July 1, 2004. P. 55–60.
3. *Mordachev V., Kozel V.* // Proc. Of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility "EMC Europe 2004". Netherlands, Eindhoven, Sept. 6-10, 2004. P. 92–97.
4. *Мордачев В.И.* // Сборник научных трудов VI международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. СПб., 2005. С. 287–291.
5. *Козел В.М., Мордачев В.И.* // Труды 15-й Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". Севастополь, Украина, 12–16 сентября 2005. С. 310–311.
6. *Brown T.X.* // Proc. Of 1998 IEEE Radio and Wireless Conference. Colorado Springs, USA, August 9–12, 1998. P. 51–54.
7. *Mordachev V.I., Kozel V.M., Yatsynovich M.N.* // Proc. of the Conference "2G/2.5G/3G Mobile Communication Networks. Technologies. Performance. Regulations. Economy. Services. Quality". Madeira, Portugal, November 20–22. 2002.
8. *Mordachev V.I., Yatsynovich M.N.* // 17th International Wroclaw Symposium And Exhibition on EMC. Poland, Wroclaw, June 29–July 1, 2004. P. 234–237.