

УДК 621.396

К.А. Спорышев, А.М. Ткачев, А.С. Постольный

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ЗОН ОБСЛУЖИВАНИЯ БАЗОВЫМИ СТАНЦИЯМИ В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

*Проведен анализ подходов к оценке прогнозируемых зон обслуживания базовыми станциями в системах подвижной радиосвязи. Проведены расчеты зон обслуживания базовыми станциями на основе модели Окумуры-Хата, получены графики зависимости потерь в тракте распространения радиоволн от различных параметров для разных условий распространения.*

*базовые станции, модель Окумуры-Хата, распределение напряженности поля*

### Вступление

**Постановка задачи.** Любая система в течение своего существования проходит несколько этапов своего развития. На каждом из этих этапов проводится ряд расчётно-аналитических работ по планированию системы, расширению, настройке и контроль качества её функционирования. В сотовых системах подвижной радиосвязи выделяют несколько этапов строительства [1]. Основными этапами планирования являются этап разработки частотного плана и расчёта пропускной способности и этап настройки системы. Данные этапы являются единственными, где проводится расчёт прогнозируемых зон обслуживания базовыми станциями (БС), интерференционный анализ и оценка распределения напряжённости поля.

В связи с разделённостью этих этапов, существует несколько различных методов анализа радиочастотного покрытия. На этапе планирования для предварительной оценки зон обслуживания используются различные модели распространения радиоволн, на основе которых разрабатываются мощные средства расчёта и прогнозирования радиочастотной обстановки. Но, как показывает практика [2], разработанные модели должны быть адаптированы под исследуемые районы (внесены корректирующие данные в затухание сигнала). Несмотря на мощность средств расчёта, все факторы, определяющие точность определения зон обслуживания, учесть невозможно. Следовательно, точность определения распределения напряженности поля от этого страдает.

Применение современных систем автоматизированного проектирования сетей подвижной радиосвязи не даёт удовлетворительных результатов. Это связано с тем, что многие модели, заложенные в системы проектирования, являются эмпирическими или полуэмпирическими, следовательно, приближёнными моделями. Причём, невозможно в данные модели заложить всю информацию об исследуемом районе (плотность застройки, тип материалов застройки, высотную модель застройки). Если же по-

следние факторы в какой-то степени являются детерминированными, то такие факторы, как погодные условия, движущиеся объекты, влияющие на распространения радиосигналов, случайны и не могут быть заложены в данные модели. Отсюда следует, что усовершенствование моделей, заложенных в системы проектирования зон обслуживания базовыми станциями в системах подвижной радиосвязи, является перспективным.

### Основной материал

Существуют следующие подходы к оценке зон обслуживания базовыми станциями в системах подвижной радиосвязи и делятся на несколько различных групп, которые в той или иной степени применяются на различных этапах построения и обслуживания сетей подвижной радиосвязи:

1. **Натурные измерения напряжённости поля.** Данный подход основан на постоянном мониторинге распределения напряжённости поля посредством проведения натурных измерений напряжённости поля. Измерениям напряжённости поля посвящены работы [2, 3].

В сетях подвижной связи широко применяются измерения зон охвата. Такие измерения, как правило, проводятся на этапе планирования, а также в ходе эксплуатации для анализа помех, при техническом обслуживании сети, при анализе её расширения и для уточнения зон охвата, в ходе проверки смоделированных с помощью компьютера зон радиоохвата.

Термин «измерение напряжённости поля» относится к трём основным категориям измерений [3]:

- Измерения, которые проводятся с использованием переносных или подвижных установок для получения относительно мгновенных или кратковременных данных с одного или нескольких положений.

- Измерения, которые проводятся с помощью подвижных установок для получения статических параметров зоны охвата в зоне действия по-

движної станції.

- Длительные измерения, предусматривающие запись напряжённости поля и анализ записанных диаграмм.

Необходимо отметить, что все три пункта, указанные выше, применимы в условиях работы сотовых систем подвижной радиосвязи. Ограничениями по применимости данных категорий измерений может быть только отсутствие измерительных комплексов у операторов сотовой связи, позволяющих проводить тот или иной класс измерений.

Каждый класс измерений предполагает использование различных типов установок (измерительных комплексов) проведения измерений напряжённости поля. Установки для измерения напряжённости поля могут быть выполнены как:

- стационарные установки. Измеритель напряжённости поля с использованием антенны, расположенной в стационарном пункте (фиксированное положение на поверхности земли, фиксированные направление и высота);

- подвижные установки. Измеритель напряжённости поля располагается на транспортном средстве (автомобиле) для проведения контроля и имеет следующие преимущества перед стационарными установками: он может использоваться как стационарный (если автомобиль находится в движении) и как подвижная установка; следовательно, они могут применяться для измерения как пространственного, так и временного распределения напряжённости поля;

- переносные измерители. Измерения с помощью переносного измерителя напряжённости поля проводятся вручную. В качестве данного измерителя может выступать сотовый телефон, работающий в режиме измерителя напряжённости поля.

В настоящее время существует очень широкий спектр измерителей напряжённости поля, позволяющих определять не только зону охвата базовых станций, но и проводить измерения интерференции сигналов, качества речи, а также расшифровывать системную информацию, которая передаётся от мобильного телефона самой системе (базовым станциям (БС), контроллеру базовых станций (КБС), центру коммутации (ЦК)). Чтобы проводить крупномасштабные измерения напряжённости поля, необходимо выявить характер изменения напряжённости поля в одной точке. На рис. 1 представлен результат измерений напряжённости поля в одной точке. Измерения проводились как в районах прямой видимости, так и в теневых областях, где сильно сказывается многолучевость.

Из рисунка видно, что зависимость напряжённости поля во времени подвержена быстрым изменениям. Последнее обусловлено замираниями. Некоторые замирания достигают большой глубины,

такой, что может быть нарушена связь телефона с базовой станцией и, как следствие, привести к переключению на другую несущую (хэндовер) или, в худшем случае, к разрыву соединения.

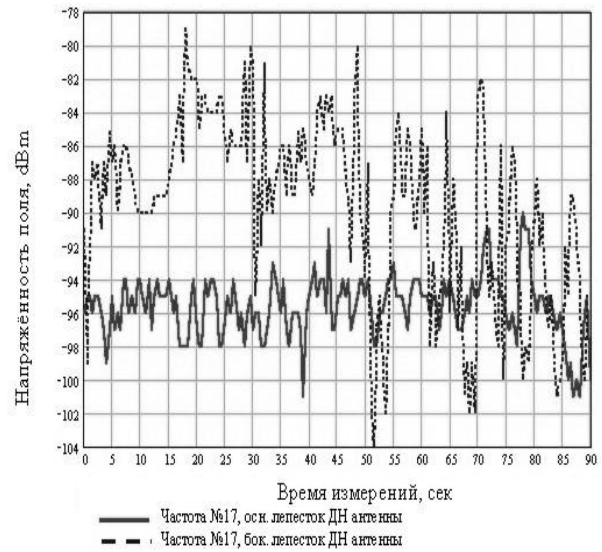


Рис. 1. Распределение напряжённости поля во времени, GSM900

Подход, используемый при обработке экспериментальных данных, полученных в ходе измерений в одной точке, должен быть применён при проведении пространственных измерений (составления карты зон покрытия базовыми станциями). Данный подход использовался при оценке зоны покрытия базовыми станциями как в стандарте GSM-900. Пример результатов измерений для стандарта GSM представлен на рис. 2.

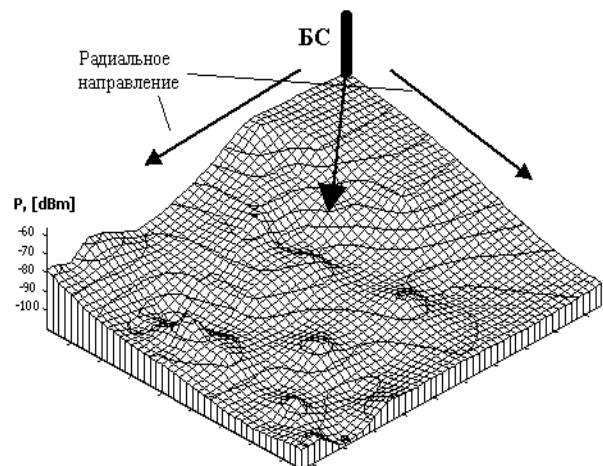


Рис. 2. Пространственное распределение напряжённости поля, GSM900

Дополнительные исследования показали, что пространственные замирания образуют локальные области, размер которых в пространственном масштабе составляет длину волны сигнала. Из приведённых выше рисунков видно, что характер изменения напряжённости поля на широких улицах и в затенённых районах различен. Это связано с тем,

что в области затенения (застройка зданиями) существует много объектов, на которых происходит дифракция, переотражение радиоволн, что вызывает многолучевый характер распространения радиоволн. Резкие скачки напряжённости поля связаны с тем, что в одну и ту же точку приходит несколько волн с различной амплитудой и фазой. Как было ранее сказано, широкие улицы представляют собой каналы, вдоль которых распространяются радиоволны. Поле, формируемое на широких улицах (радиальных улицах), образуется за счёт распространения прямой волны вдоль улиц. Необходимо также учесть, что проезжающие мимо объекты также отражают радиоволны. Поэтому на широких улицах поле является также нестабильным, как и на улицах, расположенных под разными углами. Но следует отметить, что быстрых замираний не присутствует. Из этого следует различие в характере изменения напряжённости поля на широких улицах и в затенённых участках.

2. Трассировочный подход. Данный подход основывается на алгоритмах трассировки лучей в приближении геометрической оптики, где начальной точкой трассировки лучей является планируемая или исследуемая базовая станция (БС). В данной статье не рассматривается.

3. Эмпирико-статистические и аналитические подходы. Здесь за основу взяты кривые, полученные в ходе многочисленных экспериментов по измерению напряжённости поля, как в черте городской застройки, так и в пригородных и открытых областях, которые были проведены Окумурой [4].

4. Эмпирический метод. Данный метод основывается на аппроксимации кривых Окумуры [5], носящий название «модель Окумура – Хата». На основе данной модели построен алгоритм расчета распределения напряженности поля '9999', разработанный компанией ERICSSON [6].

Интенсивность сигнала между базовой станцией и мобильным устройством должна быть достаточно высокой, чтобы поддерживать качество сигнала на приемнике, но при этом не слишком высокой, чтобы не создавать сильной интерференции с каналами других ячеек, которые используют ту же полосу частот. Интенсивность сигнала является переменной величиной и ведет себя как функция расстояния от базовой станции до точки в пределах ячейки. При проектировании сотовой сети должны учитываться эффекты распространения сигнала: максимальный уровень мощности передачи на базовой станции и на мобильном устройстве; высота антенны мобильного устройства; высота антенны базовой станции. На основе этих факторов и определяются размеры отдельной ячейки. Эффекты распространения являются динамическими, и наилучшее, что можно сделать, – это разработать модель,

основываясь на опытных данных, и, применив эту модель к данной окружающей среде, разработать правило определения размера ячейки. Одна из наиболее широко используемых моделей была представлена Окумурой. Модель Окумуры-Хаты является обобщением опытных фактов, в котором учтено много условий и типов сред. В городской среде предлагается следующее выражение для потерь в тракте [7]

$$L_{дб} = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \cdot \log d,$$

где  $f_c$  – частота несущей в мегагерцах, которая варьируется от 150 до 1500 МГц;

$h_t$  – высота передающей антенны (базовой станции) в метрах, лежит в пределах 30 – 300 м;

$h_r$  – высота принимающей антенны (мобильного устройства) в метрах, лежит в пределах 1 – 10 м;

$d$  – расстояние между антеннами в километрах, варьируется в пределах 1 – 20 км;

$A(h_r)$  – поправочный коэффициент для высоты мобильной антенны.

Для небольших или средних городов поправочный коэффициент вычисляется по такой формуле:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \log f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \log f_c - 0,8).$$

Для больших городов множитель вычисляется по следующей формуле:

$$A(h_r) = 8,29 \cdot (\log (1,54h_r))^2 - 1,1;$$

для  $f_c \leq 300$  МГц,

$$A(h_r) = 3,2 \cdot (\log (11,75h_r))^2 - 4,97;$$

для  $f_c \geq 300$  МГц.

Чтобы оценить потери на тракте для пригорода, формулу потерь для городской среды (1) нужно изменить следующим образом

$$L_{дб}(\text{пригород}) = L_{дб}(\text{город}) - 2(\log(f_c / 28))^2 - 5,4.$$

Для потерь на открытом пространстве формула выглядит следующим образом:

$$L_{дб}(\text{открытая местность}) = L_{дб}(\text{город}) - 4,7 \cdot \log(f_c)^2 - 18,733(\log f_c) - 40,98.$$

Модель Окумуры/Хаты считается одной из лучших по точности предсказания потерь на тракте и представляет собой практический способ оценки потерь на тракте для множества ситуаций [7].

На рис. 3, 4, 5 представлены результаты расчетов, основанных на модели Окумуры-Хаты. На рис. 3, 4 представлены потери в тракте распространения радиоволн для городской среды  $A(f)$ , пригород  $D(f)$ , открытая местность  $C(f)$ .

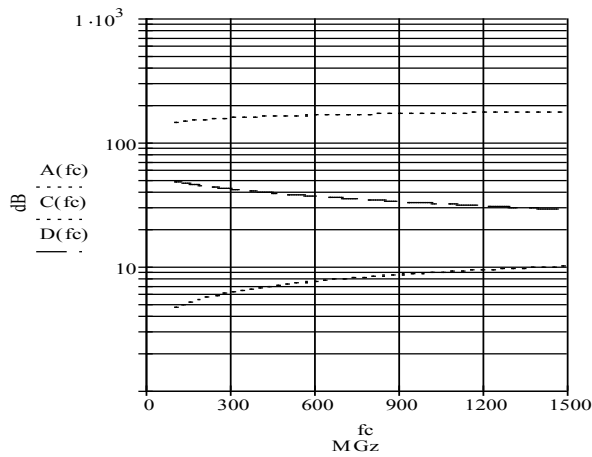


Рис. 3. Зависимость потерь в тракте от несущей частоты

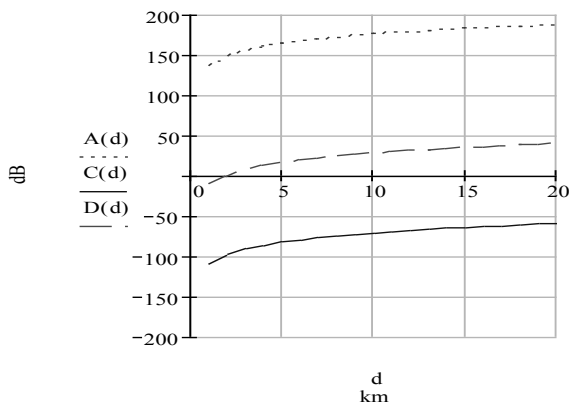


Рис. 4. Зависимость потерь в тракте от расстояния между приемником и передатчиком

На рис. 5 представлена зависимость потерь в тракте от высоты приемной антенны.

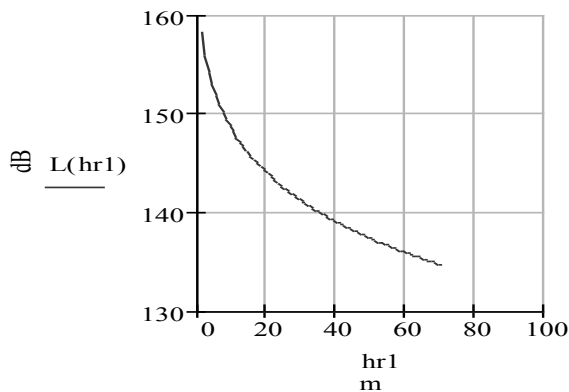


Рис. 5. Зависимость потерь в тракте от высоты приемной антенны

### Выводы

Наиболее перспективными подходами для прогнозирования зон обслуживания БС, по моему мнению, являются методы математического моделирования. Несмотря на недостатки существующих моделей прогнозирования зон обслуживания БС, эти модели на этапе планирования являются незаменимыми, так как отсутствует возможность проведения натуральных измерений.

Ряд авторов утверждает, что невозможно заложить все факторы, влияющие на систему, в модель оценки, т.к. они являются случайными. Эти факторы можно заложить в модель оценки, но они приведут к существенному усложнению моделей. В то же время точность предсказания потерь в тракте распространения возрастает. Сложность расчета потерь, в существующих моделях, на современном этапе развития вычислительной техники не представляет трудности.

Основные расчеты зон охвата на этапе планирования системы подвижной связи сейчас проводятся на основе модели Окумуры-Хаты, что подтверждается алгоритмом расчета распределения напряженности поля '9999', разработанный компанией ERICSSON. Модель Окумуры-Хаты позволяет оценить размер зон обслуживания соты системы подвижной связи по уровню затухания сигнала, но не проводит оценку зависимости уровня сигнала от рельефа местности, погодных условий, времени суток, уровня помех.

В данной статье был проведен только анализ методов оценки зон обслуживания системой подвижной связи.

В дальнейших исследованиях будет проведена попытка усовершенствования модели Окумуры-Хаты.

### Список литературы

1. Ericsson Radio Systems AB, *Cell Planning principles, Course Documentation EN/LZT 123 3314 R3A*, 1998.
2. Ефанов В.И., Береснев А.В. Анализ зон обслуживания сотовой системой подвижной радиосвязи в г. Томске // Тезисы докл. Регионально научно-технической конф. студент. и молодых ученых. Часть 2. – Томск: ТУСУР. – 1999. – С. 15-17.
3. Береснев А.В. Проведение натуральных измерений напряженности поля в сотовых системах подвижной радиосвязи // Цифровые радиоэлектронные системы, 2001, №4. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.drts.susu.ac.ru/~rvm/vol4/a12\\_04.zip](http://www.drts.susu.ac.ru/~rvm/vol4/a12_04.zip)
4. Y. Okamura, Et. Ohmori, 'Field Strength and its variability in VHF and UHF land mobile Service', *Rev. Elec. Com. Lab.*, Vol. 16, September-October 1968 – Pp. 825-873.
5. M. Hata, *Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE Trans. Veh. Technol.* – Aug. 1980. – Vol. VT-29. – P. 317-325.
6. Ericsson Radio Systems AB, *GSM Advanced Cell Planning EN/LZT 123 5333 R1A*, 1999.
7. Столлингс В. *Беспроводные линии связи и сети: Пер. с англ.* – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.

Поступила в редколлегию 26.03.2007

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.В. Листровой, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков