

УДК 621.396.9

В.Р. Милов, В.Г. Баранов, Н.В. Новиков, В.В. Алексеев, А.А. Севрюков

РАСЧЁТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ MAPINFO PROFESSIONAL

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, предназначенное для автоматизированного расчёта зон радиопокрытия базовых станций в системе профессиональной подвижной радиосвязи. Расчет основан на статистической модели напряженности поля принимаемого сигнала и включает два способа определения зон радиопокрытия. Исходными данными для расчета является информация, полученная с цифровых карт формата MapInfo, с их использованием также отображаются результаты расчета.

Ключевые слова: подвижная радиосвязь, зона радиопокрытия, геоинформационная система.

Один из основных этапов частотно-территориального планирования сетей подвижной, в том числе технологической, радиосвязи представляет расчёт зон радиопокрытия базовых станций. При планировании сетей подвижной связи зона радиопокрытия сети определяется как область географического района развертывания сети, в которой обеспечивается связь с заданным качеством обслуживания. Таким образом, зона радиопокрытия сети определяется как совокупность (объединение) зон радиопокрытия базовых станций.

При определении зон радиопокрытия базовых станций рассматриваются радиолинии от базовой станции (БС) к абонентской (АС) – «линия вниз» (нисходящая) и обратная радиолиния от абонентской станции к базовой – «линия вверх» (восходящая). Для этих радиолиний направления передачи информации и соответственно распространения радиоволн противоположно. Поскольку параметры приемников и передатчиков (такие, как высоты подвеса и диаграммы направленности антенн, мощности передатчиков и чувствительности приемников и др.) различны, то отличаются и зоны радиопокрытия, определяемые для этих направлений. При этом в качестве результирующих зон радиопокрытия принимаются области, в пределах которых обеспечивается требуемое качество связи для обоих направлений. Таким образом, результирующая зона радиопокрытия базовых станций представляет собой пересечение зон радиопокрытия, определенных для «линии вниз» и «линии вверх».

Разработанное математическое и алгоритмическое обеспечение основывается на подходе [1, 3, 4], которой позволяет учитывать влияние рельефа местности на качество связи. При определении зоны радиопокрытия базовой станции рассматривается совокупность азимутальных направлений, каждое из которых образовано лучом, исходящим из точки, соответствующей местоположению БС. Совокупность точек рельефа на каждом из направлений определяет профиль местности. При этом описание каждой точки, наряду с информацией о местоположении (удалении точки от БС) и высоте местности, включает и дополнительные характеристики: наличие и тип лесного покрова, строения, суша или вода. Информация о рельефе может быть получена на основе бумажных либо электронных карт и представляет собой отдельную процедуру. В результате для каждого азимутального направления формируется совокупность точек, количество которых определяется пользователем. Характеристики промежуточных точек профиля местности при необходимости могут быть получены с помощью процедуры интерполяции.

Развиваются два способа определения зон радиопокрытия. Первый способ основан на использовании статистического подхода, предусматривающего определение для каждого азимутального направления граничной точки зоны радиопокрытия, в которой еще

обеспечивается заданная надежность связи. Границы зон радиопокрытия определяются посредством плавного соединения точек, соответствующих границам зон по каждому азимутальному направлению, в результате чего образуется замкнутая гладкая линия. При этом зоны радиопокрытия для больших значений надежности включаются в зоны, соответствующие меньшим значениям надежности.

Данный подход позволяет за счет учета специфики рельефа местности получить более точное представление зон радиопокрытия по сравнению с методом «средних радиусов», при котором зона радиопокрытия базовой станции представляется в виде круга, радиус которого соответствует заданному проценту глобальных зон с качественной связью на его границе. В то же время различия в качестве связи внутри найденной зоны радиопокрытия не определяются и не доступны для анализа, а надежность связи характеризует глобальную область местности.

Второй способ определения зон радиопокрытия основан на расчете надежности связи для каждой из точек (в пределах заданного расстояния) всех азимутальных направлений. В результате надежность связи определяется как функция от полярных координат, связанных с базовой станцией. При этом зона радиопокрытия находится как объединение элементарных локальных областей, для которых рассчитанная надежность связи превышает требуемую величину. В результате обнаруживаются локальные области с низкой надежностью связи, вызванные особенностями рельефа для отдельных трасс.

Формирование зоны радиопокрытия основано на указании требуемого значения надежности связи. В свою очередь, надежность связи, представляет собой вероятность обеспечения связи с заданными параметрами качества обслуживания. Абоненты системы подвижной радиосвязи могут перемещаться и занимать различное положение в пространстве. При этом условия распространения радиоволн и соответственно качества связи могут изменяться как во времени, так и в пространстве. Напряженность поля сигнала является случайной величиной как по местоположению, так и во времени, и приближенно описывается логарифмически нормальным законом. В качестве параметров распределения вероятностей напряженности поля сигнала используют [1, 3, 4] медианное значение напряженности поля сигнала (дБ(мкВ/м)) и стандартное отклонение (дБ относительно медианы).

Для определения надежности связи находится вероятность того, что уровень полезного сигнала на входе приемника абонентской станции превышает минимальный уровень сигнала, необходимый для обеспечения требуемого качества связи (например, разборчивости речи). Другой аналогичный подход [3] основан на определении вероятности того, что напряженность поля сигнала в точке расположения приемника превышает минимальное значение напряженности поля сигнала, необходимое для обеспечения требуемого качества связи.

Минимальное значение напряженности поля либо минимальный уровень сигнала, необходимые для обеспечения требуемого качества связи, определяются параметрами приемника и для конкретного типа оборудования являются константами. Напряженность поля принимаемого сигнала, создаваемая источником мощностью 1 кВт при излучении полуволновым диполем, которая превышает в 50 % мест (в пределах любой зоны, приблизительно 200 x 200 м) для различного процента времени (50, 10, 5, 1 %) определяется «кривыми распространения» [4]:

$$E_0 = f_{50\%}(R, F_B, h_1, T_{\%}), \quad (1)$$

где R — длина трассы, км; F_B — рабочий диапазон частот, МГц; h_1 — эффективная высота передающей антенны, м; $T_{\%}$ — процент времени, в течение которого напряженность поля превышает прогнозируемый уровень.

Кривые распространения заданы для высоты приемной антенны 10 м и эффективных высот передающей антенны от 37,5 до 1200 м, где каждое последующее значение *эффективной высоты* равно удвоенному предыдущему. Для значений эффективной высоты, отличных от рассмотренных, рекомендуется применение линейной интерполяции двух кривых, соответствующих эффективным высотам непосредственно выше и ниже рассматриваем-

мого значения. Кривые распространения для трасс, проходящих над поверхностью Земли, относятся к значению неравномерности рельефа $\Delta h = 50$ м, которое обычно приближенно соответствует холмистой территории, имеющей место в Европе и Северной Америке. Часть кривых относятся к наземным трассам, другие — к трассам над морем (холодным или теплым). Кривые распространения [4] построены на основе данных, полученных в результате долгосрочных наблюдений, и могут рассматриваться как репрезентативные данные для усредненных климатических условий.

Напряженность поля для конкретной трассы определяется выражением

$$E_E = f_{50\%}(R, F_B, h_1, T_\%) + K_{L\%} + P_{EBS} + K_\Sigma, \quad (2)$$

где P_{EBS} — эффективная излучаемая мощность, дБкВт, определяемая суммой мощности передатчика, потерь в антенно-фидерном тракте и коэффициента усиления передающей антенны вдоль заданного направления; $K_{L\%}$ — коэффициент, зависящий от процента пунктов (точек приема), для которых напряженность поля превысит прогнозируемый уровень, дБ; K_Σ — суммарный поправочный коэффициент, определяемый выражением

$$K_\Sigma = K_{\Delta h} + K_{h_2} + K_\theta + K_{\Delta N}, \quad (3)$$

где $K_{\Delta h}$ — коэффициент, зависящий от степени неравномерности рельефа местности, дБ; K_{h_2} — коэффициент, зависящий от высоты приемной антенны и характера местности в зоне приема, дБ; K_θ — коэффициент, зависящий от угла ϑ просвета местности [дБ]; $K_{\Delta N}$ — коэффициент, учитывающий климатические зоны, дБ.

С учетом поправочных коэффициентов выражение (2) для напряженности поля, превышаемой в течении $T_\%$ процентов времени и в $L_\%$ пунктов приема, перепишем в виде

$$E_E = f_K(\mathbf{V}, \mathbf{C}, L_\%, T_\%), \quad (4)$$

где \mathbf{C} — вектор параметров, значения которых являются постоянными для конкретной базовой и абонентской станций (мощность передатчика, чувствительность приемника и др.); \mathbf{V} — вектор величин, значения которых изменяются в зависимости от местоположения АС. К этим величинам относятся длина трассы R , эффективная высота передающей антенны h_1 , параметр неравномерности рельефа Δh .

После того, как в зависимости от характеристик приемника найдено минимальное значение напряженности поля сигнала E_{AS} , необходимое для обеспечения требуемого качества связи, можно записать уравнение

$$f_K(\mathbf{V}, \mathbf{C}, L_\%, T_\%) = E_{AS}. \quad (5)$$

При определении зон радиопокрытия на основе статистического подхода для каждого азимутального направления, определяемого углом α , находится граничная точка зоны радиопокрытия, в которой еще обеспечивается заданная надежность связи. Для этого, задаваясь значениями $L_\%$ и $T_\%$, из решения уравнения (5) для каждого α_j находится дальность связи $R_{грj}$ как граничное значение величины R , входящей в состав вектора \mathbf{V} .

При определении *секторных* зон радиопокрытия для каждой из точек (в пределах заданного расстояния) всех азимутальных направлений могут быть найдены величины $L_\%$ и $T_\%$, которые удовлетворяют уравнению (5). При этом обычно задаются величиной $L_\%$ и находят $T_\%$. Однако решение этого уравнения в общем случае затруднено, что связано с зада-

нием кривых распространения и соответственно функции $f_K(\bullet)$ для конечного набора значений ряда аргументов (в том числе $T\%$).

В связи с этим, для определения надежности связи предлагается подход [3], основанный на использовании кривых распространения для медианного значения напряженности поля сигнала, превышаемой в 50 % по месту и в 50 % по времени. Для определения квантилей распределения напряженности поля на основе медианного значения напряженности и стандартного отклонения (дБ относительно медианы) используются коэффициенты логарифмически нормального распределения K_0 . В этом случае выражение (2) можно представить в виде

$$E_E = f_{50\%}(R, F, h_1, 50\%) + P_{EBS} + K_\Sigma - K_0(P_{nc})\sigma, \quad (6)$$

где σ — стандартное отклонение сигнала, определяемое через стандартные отклонения сигнала по времени и месту. Коэффициент K_0 связан табулированной функциональной зависимостью с надежностью связи P_{nc} по времени и месту.

С учетом (6) уравнение (5) примет вид

$$f_{50\%}(R, F, h_1, 50\%) + P_{EBS} + K_\Sigma - K_0(P_{nc})\sigma = E_{AS}. \quad (7)$$

Из решения этого уравнения для заданной надежности связи P_{nc} и каждого значения азимутального угла α_j , $j = \overline{1, M}$ находятся граничные точки зоны радиопокрытия. Посредством плавного соединения этих точек определяется граница зоны радиопокрытия, рассчитанная на основе статистического подхода (первый способ).

При расчете характеристик связи для каждой из точек, находящихся на расстоянии R_i , всех азимутальных направлений α_j из уравнения (7) находятся соответствующие значения надежности связи P_{ncij} . При этом зона радиопокрытия образуется объединением элементарных локальных областей, для которых рассчитанная надежность связи P_{ncij} превышает заданную величину (второй способ).

Программное обеспечение расчета и отображения зон радиопокрытия состоит:

- из подпрограммы расчета зон радиопокрытия базовых станций;
- подпрограммы отображения результатов расчета зон радиопокрытия базовых станций на цифровых картах формата MapInfo;
- подпрограммы оформления проектной документации, обеспечивающей автоматизацию отдельных промежуточных документов.

К основным функциональным возможностям подпрограммы расчета зон радиопокрытия базовых станций относятся установка параметров базовой станции, параметров абонентской станции, параметров расчета, формирование высотных отметок земли для заданных радионаправлений на основе обработки картографических данных, полученных с электронных карт, формирование данных о препятствиях для заданных радионаправлений на основе обработки информации о препятствиях, полученной с электронных карт, расчет зон радиопокрытия отдельной БС на основе статистической модели распространения радиоволн, расчет зон радиопокрытия отдельной БС на основе комбинирования статистической и детерминированной моделей распространения радиоволн, расчет зон радиопокрытия для линии вверх и линии вниз, отображение непрерывных и секторных зон радиопокрытия БС, сохранение результатов расчета зон радиопокрытия БС в файлы, создание и коррекция проекта, содержащего оглавление результатов расчетов для отдельных БС.

К основным функциональным возможностям подпрограммы отображения результатов расчета зон радиопокрытия базовых станций на цифровых картах формата MapInfo относятся экспорт данных о рельефе с электронных карт в формате MapInfo, экспорт данных о пре-

препятствиях с электронных карт в формате MapInfo, выбор цветовой палитры для отображения рассчитанных зон радиопокрытия, настройка градаций надежности для отображения, комбинирование зон радиопокрытия отдельных БС и формирование зоны радиопокрытия сети подвижной радиосвязи, отображение на цифровых картах MapInfo сплошных и секторных зон радиопокрытия, установка заданных масштабов цифровой карты, сохранение изображения зон с электронных карт.

Дополнительные возможности: нанесение на электронные карты MapInfo трассы газопровода, области покрытия вдоль газопровода, обрезка электронной карты, объединение нескольких электронных карт в одну, проверка на принадлежность базовой станции электронной карте, нанесение на электронные карты поясняющей информации.

К основным функциональным возможностям подпрограммы оформления проектной документации относятся загрузка данных о высотных отметках и препятствиях для заданных радионаправлений и автоматическая генерация по загруженным данным отчетного документа с необходимой структурой и форматом.

Расчет зон радиопокрытия начинается с экспорта данных о высотных отметках с электронных карт в формате MapInfo, а также экспорта данных о препятствиях с электронных карт в формате MapInfo. Далее вводятся координаты для установки БС, характеристики БС и АС, параметры и метод расчета, параметры радионаправлений для обработки картографических данных, производится импорт данных о препятствиях и высотных отметках. Далее производится расчет и отображение надежности связи и зон радиопокрытия в окне подпрограммы расчета зон радиопокрытия базовых станций, а также сохранение результатов расчета в файл проекта. Следующими шагами являются: установка настроек цветовой палитры и градаций надежности, выбор карты и проекта для отображения (электронная карта формата MapInfo), отображение зоны радиопокрытия сети подвижной радиосвязи, установка заданных масштабов электронной карты и сохранение изображения зоны радиопокрытия.

Процедура расчета основана на статистической модели напряженности поля сигнала, изложенной в рекомендации Международного союза электросвязи [4]. Расчет зон радиопокрытия базовых станций включает следующие этапы:

- определение эффективной мощности передатчика;
- расчет эффективной высоты антенны базовой станции;
- расчет поправки на снижение антенны абонентской станции;
- определение параметра неравномерности рельефа;
- расчет поправочных коэффициентов, входящих в состав (3);
- определение медианного значения минимальной напряженности поля;
- определение границ зон радиопокрытия.

С использованием алгоритмов расчета зон радиопокрытия разработано программное обеспечение, позволяющее в значительной степени автоматизировать процесс частотно-территориального планирования сетей технологической подвижной радиосвязи.

Основное окно (рис. 1, а) графического интерфейса пользователя состоит из четырех областей:

- А – область отображения картографической информации и результатов расчетов;
- Б – область профиля с изображением рельефа вдоль выбранного азимутального направления;
- В – область данных, содержит данные профилей рельефа местности;
- Г – строка меню.

Окно программы расчета зон радиопокрытия с установленной БС и загруженными картографическими данными показано на рис. 1, б. Картографические данные представляются в полярной системе координат с центром в точке, соответствующей местоположению БС. Также при расчете зон радиопокрытия базовых станций учитываются характер и высота препятствий.

Результаты расчета сохраняются в файле проекта для их последующего отображения на электронных картах формата MapInfo.

В качестве примера отображения результатов расчета на электронных картах формата MapInfo на рис. 2, *а* представлены результаты расчета зон радиопокрытия для трех заданных значений надежности связи (способ 1). Результаты расчета секторных зон радиопокрытия (способ 2) представлены на рис. 2, *б*.

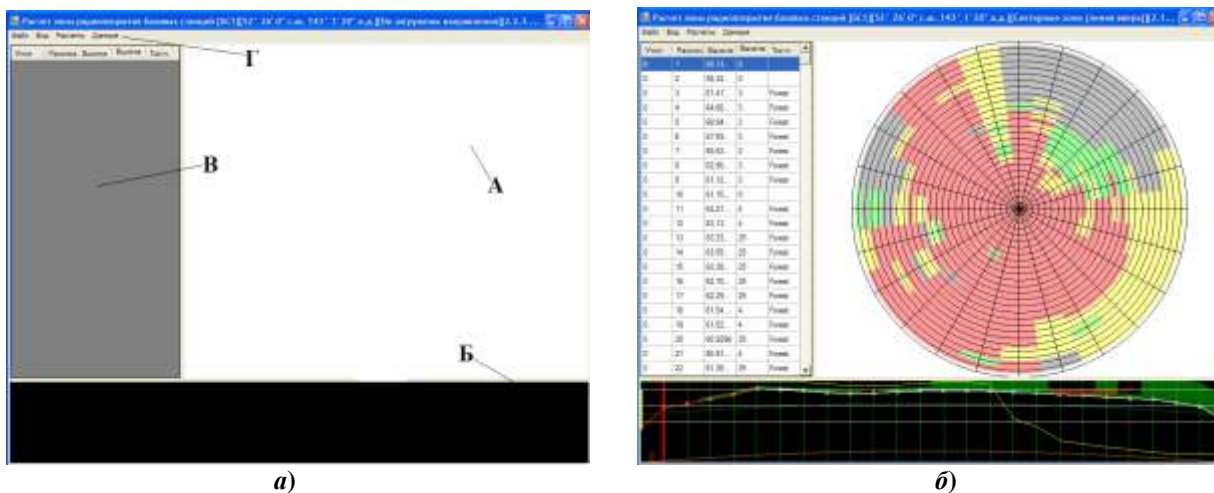


Рис. 1. Интерфейс пользователя программы расчета зон радиопокрытия:
а – области основного окна; *б* – расчет зон радиопокрытия

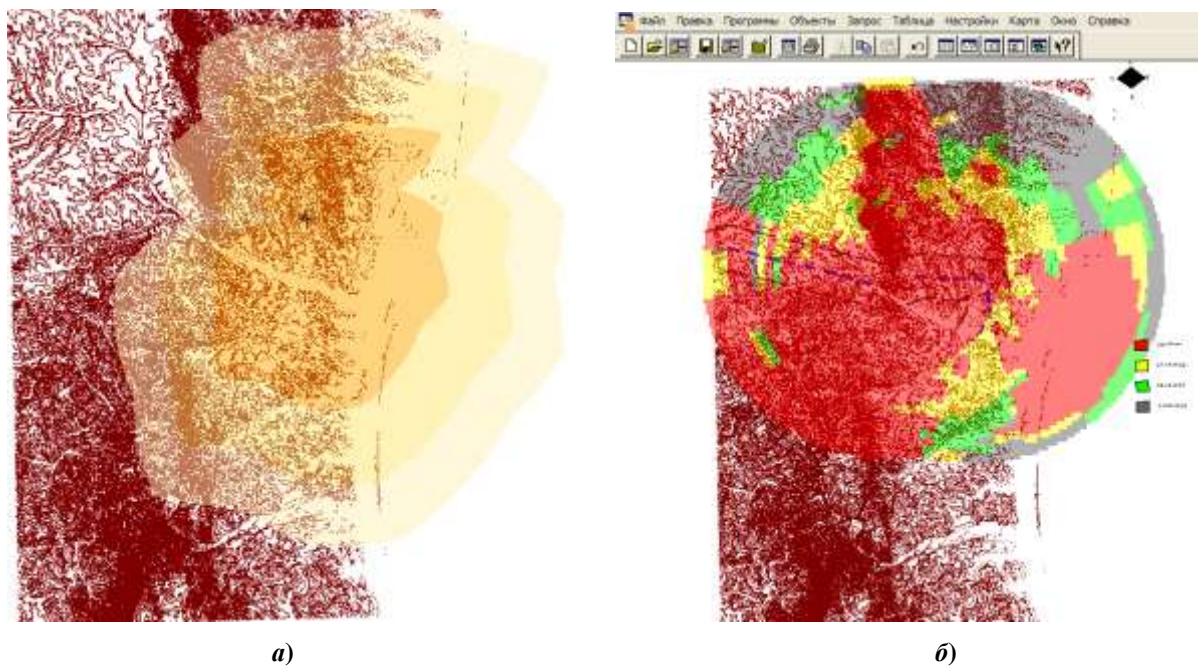


Рис. 2. Отображение зон радиопокрытия в MapInfo:
а – для заданных значений надежности связи; *б* – секторных зон радиопокрытия

Формирование достаточно эффективных технических решений по частотно-территориальному планированию систем подвижной радиосвязи возможно с использованием автоматизированных информационных систем, при этом достигаются уменьшение роли человеческого фактора, значительное сокращение трудоемкости и сроков выполнения проектов.

Разработанное программное обеспечение прошло тестирование и находит практическое применение. Использование программного продукта для расчётов зон радиопокрытия базовых станций обеспечивает повышение степени автоматизации процесса проектирования сетей технологической подвижной радиосвязи; способствует сокращению сроков выполнения проектов; экономии ресурсов за счет эффективного размещения базовых станций сети подвижной радиосвязи и выбора параметров технических средств. Отображение результатов расчета зон радиопокрытия базовых станций на цифровых картах MapInfo обеспечивает их эффективную визуализацию в процессе частотно-территориального проектирования, а также позволяет автоматизировать процесс подготовки проектной документации.

Библиографический список

1. **Бабков, В.Ю.** Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
2. **Бабков, В.Ю.** Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление / В.Ю. Бабков, П.В. Полынцев, В.И. Устюжанин; под ред. А.А. Гоголя. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
3. **Тамаркин, В.М.** Транкинговые системы радиосвязи / В.М. Тамаркин [и др.] // Связь и бизнес. – М.: МЦНТИ, ООО "Мобильные коммуникации", 1997.
4. RECOMMENDATION ITU-R P. 370–7.
5. **Овчинников, А. М.** Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи / А. М. Овчинников, С. В. Воробьев, С. И. Сергеев // Связь и бизнес. – М.: МЦНТИ, ООО "Мобильные коммуникации", 2000.
6. **Новиков, Н.В.** Системно-сетевые расчеты показателей сети технологической подвижной радиосвязи // Газовая промышленность. 2009. № 6. С. 39–41.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.2010*

V.R. Milov, V.G. Baranov, N.V. Novikov, V.V. Alekseev, A.A. Sevryukov

CALCULATION OF RADIO COVERAGE ZONES OF MOBILE RADIO NETWORK USING MAPINFO PROFESSIONAL GEOINFORMATION SYSTEM

Developed algorithms and software designed to automate the calculation of radio coverage zones of base stations in the system of professional mobile radiocommunication. The calculation is based on a statistical model of the field strength of the received signal, and includes two ways to determine the radio coverage zones. Initial data for the calculation is the information obtained from the MapInfo digital maps. Results of the calculation also display using it.

Key words: mobile radiocommunication, radio coverage zones, geographic information system.