

АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА МОЩНОСТИ (ППМ) ВБЛИЗИ ИЗЛУЧАЮЩИХ АНТЕНН

Предложены способы определения участков территории с наибольшей плотностью потока мощности, создаваемой антеннами стандарта GSM. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование предложенных способов.

Ключевые слова: уровень электромагнитного поля, плотность потока мощности, измерения, антенны GSM.

Поддержано грантом РФФИ 08-07-97000-Р_поволжье_а.

Введение

Проблемы электромагнитного мониторинга излучающих антенн стали актуальными, начиная с середины 70-х годов прошлого века. Исследованиям в этой области посвящены работы Шередько Е.Ю., Сподобаева Ю.М., Кубанова В.П., Бузова А.Л., Казанского Л.С. [1]. Следует отметить, что кроме измерения уровня электромагнитного излучения, создаваемого антеннами [2, 3], следует осуществлять прогноз возможного изменения картины поля в зависимости от их параметров. Так в работе [3] осуществляются измерения ППМ в точках с ожидаемой наибольшей ППМ. Однако точки измерения определяются по усредненным параметрам излучающих антенн, что может привести к неточному выбору места измерения. В настоящей работе предполагается для определения границ территории, на которой значение ППМ соизмеримо с предельно допустимым значением, использовать известные формулы распространения электромагнитных волн в открытом пространстве [4, 5]. Полученные значения границ данной территории, будут использоваться как примерные ориентиры для проведения натурных испытаний. Поскольку реальные значения ППМ зависят от многих факторов (параметров антенн, уровня излучающей мощности, подстилающей поверхности, близлежащих построек и др.), то при теоретических исследованиях следует пользоваться реальными параметрами антенн сотовой связи стандарта GSM. Кроме того, в работе [3] отсутствует привязка измерений к географическим координатам и высоте точки измерения, что исключает анализ изменений ППМ в зависимости от места измерения.

Наличие же географических координат позволит проследить тенденцию изменения измеряемой величины и правильно выбрать характерные места для измерений.

В связи с этим встает задача формирования основных подходов для определения неблагоприятных зон электромагнитного загрязнения на территории, прилегающей к излучающим антеннам, рассматриваемая в настоящей работе.

Постановка задачи

Плотность потока мощности в точке приема может быть найдена по формуле [4]

$$P = \frac{N_{nn} \cdot P_{max} \cdot 10^{0.1G_{npd}} \cdot \theta_z^2(\varphi_z) \cdot \theta_\theta^2(\varphi_\theta)}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

где N_{nn} – число приемо-передатчиков; P_{max} – максимальная мощность передатчика; G_{npd} – коэффициент усиления антенны; $\theta_z(\varphi_z)$ и $\theta_\theta(\varphi_\theta)$ – нормированная диаграмма направленности передающей антенны (ДНА) в горизонтальной и вертикальной плоскостях (в статье будем использовать выражение $\sin(x)/x$ для описания ДНА [4]); R – расстояние от центра передающей антенны до точки наблюдения.

На основе (1), выполним расчет ППМ P от расстояния r до антенны при нулевом азимутальном угле φ_z , некоторой высоте подвеса антенны и некотором угле наклона антенны (рис. 1). Использование выражения $\sin(x)/x$ для описания ДНА дает ложные боковые лепестки, которыми пренебрежем.

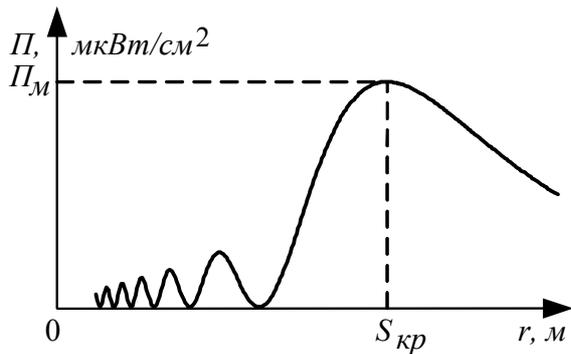


Рис. 1. Зависимость плотности потока мощности от расстояния до антенны

Анализ рис. 1 показывает, что существует некоторый максимум ППМ P_M , отстоящий от антенны на некоторую критическую дальность $S_{кр}$. Следует отметить, что r – проекция вектора длиной R (1), соединяющего центр передающей антенны и точку наблюдения.

Теоретическое исследование зависимости максимального значения ППМ P_M предполагает исследование на экстремум функции (1) с последующим нахождением аналитической зависимости критической дальности $S_{кр}$ от параметров антенны. При этом требуются весьма сложные и громоздкие вычисления. Поэтому, для установления связи максимальной ППМ P_M и критической дальности $S_{кр}$ целесообразно выполнить расчеты по формуле (1) с учетом конкретных параметров антенны.

Предлагаемый подход к анализу ППМ на территории, прилегающей к излучающей антенне, по максимальному значению ППМ P_M на критической дальности $S_{кр}$ проверим на различных экспериментальных данных. Исследования ППМ трех антенн проводились с использованием разработанного мобильного измерительного терминала уровня электромагнитного поля, который обеспечивает привязку измерительных данных к географическим координатам, высоте точки измерения, дате и времени измерения [6, 7]. Количество замеров ППМ, попадающих в главный лепесток ДНА равно 3905, 3693 и 11929 соответственно. Такое количество измерений необходимо лишь на этапе обоснования предлагаемых способов анализа и для визуализации измерительных данных.

Поскольку точки измерения на исследуемой территории по азимуту и дальности распределены неравномерно, то для определения

максимального значения ППМ \hat{P}_M и критической дальности $\hat{S}_{кр}$ предлагается использовать следующие способы.

Способ определения критической дальности с использованием «скользящего угла»

В пределах ДНА в горизонтальной плоскости в секторе $\pm 2\theta_z/3$ формируется «скользящий угол» шириной 10 градусов, перемещаемый дискретно через 0,1 градуса и зеркально относительно центра ДНА ($2\theta_z$ – ширина ДНА в горизонтальной плоскости). В каждом положении «скользящего угла» определяется текущее максимальное значение ППМ \hat{P}_{Mi} и соответствующая ей текущая критическая дальность $\hat{S}_{кри}$. При этом каждое значение ППМ есть среднее значение 1024 пар измерений, полученных с интервалом в 1 мс с двух детекторов радиосигнала [7]. Такое количество измерений выбрано исходя из задачи уменьшения вычислительных затрат микропроцессора мобильного измерительного терминала [7]. Так при вычислении среднего значения 1024 измерений операция деления заменяется операцией сдвига. Кроме того, минимальный интервал данных, получаемых с GPS приемника, составляет 1 с, поэтому период измерения ППМ выбран 1 мс, что при 1024 измерениях обеспечивается соответствующая скорость измерения. По найденным текущим критическим дальностям $\hat{S}_{кри}$ строится гистограмма, позволяющая определить количество критических дальностей приходящихся на конкретную дальность r до антенны. Максимальное значение гистограммы определяет критическую дальность $\hat{S}_{кр}$ для данной антенны. Расчеты показали, что относительная ошибка определения критической дальности для анализируемых антенн составляет 1 % (2 м), 4,5 % (10 м) и 7,2 % (25 м).

Способ определения критической дальности с использованием «скользящего окна»

В пределах ширины ДНА в горизонтальной плоскости формируется «скользящее окно» шириной 3 м (для уменьшения ошибки GPS приемника) и углом анализа в азимутальной плоскости $\phi_a = \pm 2\theta_z/3$. Далее окно перемещается дискретно через 1 м. Таким образом, в «скользящее окно» попадают все

значения ППМ \hat{P}_{mi} , отстоящие от передающей антенны на одну и ту же дальность r_j и заключенные в пределах угла анализа $\phi_a = \pm 2\theta_c/3$. По найденным значениям ППМ \hat{P}_i текущего «скользящего окна» вычисляется их среднее значение \hat{P}_{cpj} . Далее все полученные средние значения ППМ \hat{P}_{cpj} обрабатываются с помощью медианного фильтра. Анализ экспериментальных данных показал, что размер «окна» медианного фильтра, при котором обеспечивается наименьшая ошибка определения критической дальности следует принять 0.1 от теоретической критической дальности $S_{кр}$. Из всех значений $\hat{P}_{\phi j}$ с выхода медианного фильтра выбирается максимальное значение и соответствующая ему дальность r_j до антенны, которая и принимается за критическую дальность $\hat{S}_{кр}$. На рис. 2 приведены результаты обработки экспериментальных данных для первой антенны. При этом относительная ошибка определения критической дальности для анализируемых антенн составила 0.5 % (1 м), 5.4 % (12 м) и 10.8 % (37 м).

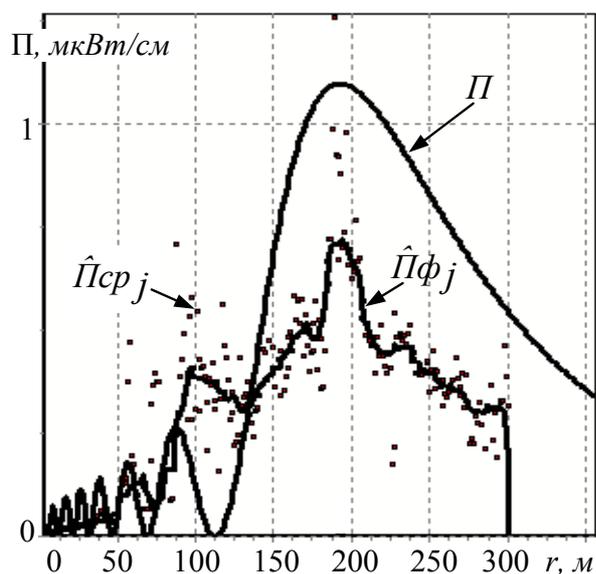


Рис. 2. Результаты обработки экспериментальных данных с использованием «скользящего окна» (первая антенна)

На рис. 2 приведены следующие характеристики:

– теоретическое значение ППМ P ;

– экспериментальное среднее значение ППМ \hat{P}_{cpj} ;

– экспериментальное значение ППМ с выхода медианного фильтра $\hat{P}_{\phi j}$.

Из рис.2. видно, что использование медианного фильтра позволяет определить участок, соответствующий наибольшему значению ППМ. Кроме того, из рис. 2 следует, что имеет место достаточно сильный разброс уровня сигнала, вызванный частотно-временными флуктуациями излучаемого антеннами сигнала.

Способ определения максимального значения плотности потока мощности

Способ основан на определении критической дальности $\hat{S}_{кр}$ с использованием «скользящего окна». В пределах $\hat{S}_{кр} \pm 5\%$ м по дальности и ± 10 градусов в азимутальной плоскости выбираются все значения ППМ \hat{P}_i , по которым вычисляется их среднее значение и дисперсия. Для уточнения теоретического значения ППМ определяется высота точки измерения относительно высоты подвеса антенны. Для этого по экспериментальным данным производится вычисление среднего значения высоты анализируемого участка в пределах $\hat{S}_{кр} \pm 2\%$ м по дальности и ± 0.5 градуса в азимутальной плоскости. При этом относительная ошибка определения максимального значения ППМ для трех анализируемых антенн составила 10 %, 11 % и 64%. Значительная ошибка для третьей антенны обусловлена наличием препятствия (четырёхэтажное здание), создающего «тень» в области критической дальности. Следует отметить, что наличие препятствия между антенной и точкой с критической дальностью приводит лишь к уменьшению ППМ. При этом точность определения критической дальности практически не ухудшается, поскольку участок с наибольшим значением ППМ сохраняет свое местоположение.

Разработанная программа *Model.exe* позволяет проводить исследование экспериментальных данных при любом угле в азимутальной плоскости. Интересно проследить зависимость ППМ \hat{P} от дальности r до антенны на различных азимутальных углах, одновременно представленных в одной плоскости (используется «эффект сложного веера»). На рис. 3 показана такая зависимость.

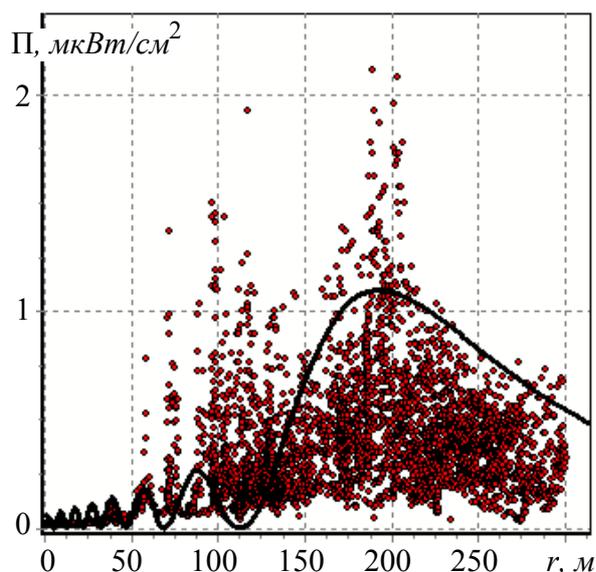


Рис. 3. Зависимость ППМ от дальности до антенны на различных азимутальных углах, одновременно представленных в одной плоскости (первая антенна)

Дополнительный максимум ППМ на дальности, меньшей критической вызван влиянием боковых лепестков ДНА (рис. 3). Кроме того, видно, что наибольшие значения ППМ сосредоточены в районе критической дальности. Следует отметить, что дополнительный максимум определяется конструкцией антенн GSM [1], а отличие теоретического значения ППМ, рассчитываемого по формуле (1) обусловлено выбором приближенного вида ДНА ($\sin(x)/x$).

Заключение

Показана возможность оценки неблагоприятной зоны вблизи излучающей антенны по критической дальности $S_{кр}$, которая может быть определена по формуле (1). Предложено несколько подходов к анализу измерений для определения максимального значения ППМ \hat{P}_m и критической дальности $\hat{S}_{кр}$. Установлена достоверность измерительных данных, получаемых с помощью разработанного мобильного измерительного терминала уровня электромагнитного поля. Поскольку формула (1) учитывает удаленность и высоту точки измерения относительно антенны, то предлагаемые подходы возможно использовать для теоретического прогнозирования неблагоприятных зон на различных этажах зданий, расположенных вблизи излучающих антенн.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Вишняков М.Г. Исследование электромагнитных полей вблизи антенн цифровых систем передачи информации для целей электромагнитной безопасности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. - Самара, 2002. - 12 с.
2. Григорьев О.А., Меркулов А.В., Харламов Г.А. Опыт проведения инструментального контроля интенсивности электромагнитного поля в местах размещения базовых станций системы сотовой радиосвязи на территории г. Москва // Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования: Матер. 3 Междунар. конф., Москва - Санкт-Петербург, 17-24 сент. 2002 г. - М., 2002. - С.104-106.
3. Григорьев О.А., Меркулов А.В., Григорьев К.А. Электромагнитные поля базовых станций подвижной радиосвязи и экология. Характеристика и оценка электромагнитной обстановки вокруг базовых станций подвижной радиосвязи // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2005. - Т.45, N 6. - С.722-725.
4. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов: учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов / под ред. Д. И. Воскресенского. - М.: Сов. радио, 1972. - 318 с.
5. Кирюшкин Г.В., Маслов О.Н., Шаталов В.Г. Проектирование, развитие и электромагнитная безопасность сетей сотовой связи стандарта GSM. - М.: Радио и связь, 2000 - 148 с.
6. Пат. на полезную модель №73144 Российская Федерация, МПК7 H04Q9/00. Мобильный измерительный терминал уровня электромагнитного поля / Елягин С.В., Армер А.И.; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. Бюл. №13, 10.05.2008.
7. Елягин С.В., Армер А.И. Мобильное устройство экологического мониторинга уровня электромагнитного поля. «Современные проблемы науки и образования» № 4, 2008 (июль - август). - С.30-34.

.....

Елягин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Телекоммуникации» УлГТУ. Имеет работы в области радиотехники и связи.