

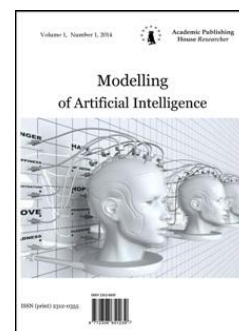
Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation
 Modeling of Artificial Intelligence
 Has been issued since 2014.
 ISSN: 2312-0355
 Vol. 5, Is. 1, pp. 42-48, 2015

DOI: 10.13187/mai.2015.5.42

www.ejournal11.com



UDC 621.317.328

Visual Representation of Energy Flux Density for Mobile System Aerial in MATHCAD

¹ Marina Yu. Zvezdina

² Yuliya A. Shokova

³ Andrei V. Shokov

⁴ Sergei N. Gorbunov

¹⁻⁴ Don State Technical University, Russian Federation
 344000, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarina sq., 1

¹ Dr. (Physics and Mathematics), Associate Professor

E-mail: zvezdina_m@mail.ru

² PhD (Physics and Mathematics), Assistant Professor

³ Post-graduate student

⁴ Post-graduate student

Abstract

The visualization problems for radiation process of mobile system aerial placed on the rooftop of an inhabitant building were considered. Antenna directivity characteristics can be indicated either by principal planes specification or by analytical correlations. Computer programs that authors developed in MathCad 15 integrated language environment provide graphic representation of excited energy flux density distribution in two considered perpendicular planes. Both plane aspects are to be specified. An inclusion of antenna phase center is an exclusive requirement for plane specification. The value of energy flux density is estimated by the correlations recommended by methodology instructions MUK 4.3-1167-02 for microwave antennae. The results were verified by a comparison to well-known special cases. The computer programs were registered within the Federal Institute of Industrial property (FIPS). The examples of the simulation results obtained with abovementioned programs are given. The recommendations formulated for the obtained results are also put down. It is shown that using the developed programs in education process for majors in radio-engineering provides transfer of skills in electromagnetic environment estimation near mobile system antennae. The majoring students can also obtain competence in finding the adjustment methods for energy flux density value in a considered direction.

Keywords: energy flux density; aerial; mobile systems; energy flux density distribution; visual representation for distribution in planes; software solution; electromagnetic environment estimation; IT solution; radio-engineering majoring education; recommendations for energy flux density decrease.

Введение

Переход процесса обучения на новый уровень, обусловленный современным развитием вычислительной техники и расширением возможностей сети *Internet*, характеризуется широким использованием информационных технологий [1]. Одним из основных их преимуществ является возможность визуализации процессов, которые обучаемым сложно представить, поскольку они могут быть измерены только специальными комплексами. Примером таких процессов, который изучается при подготовке специалистов в области инфокоммуникаций, является излучение антенны, которое рассматривается не только при изучении влияния параметров конструкции на характеристики излучения антенны, но и при оценке экологической обстановки вблизи места установки антенн.

При разработке программных комплексов, реализующих визуализацию структуры создаваемой антенной электромагнитного поля, наиболее целесообразно при исследовании экологической обстановки рассматривать поля антенн базовых станций подвижной связи. Это обусловлено тем, что в городских условиях для обеспечения устойчивости связи данные антенны часто размещаются на крышах высотных зданий, в том числе и жилых, направление их максимального излучения ориентировано в сторону земли [2], а, следовательно, их поля могут оказывать вредное воздействие на среду жизнедеятельности человека [3]. Поскольку обычными профилактическими мерами излучение антенн устранить нельзя (антенна должна излучать), то возникает необходимость более подробного изучения структуры электромагнитного поля в месте установки антенны на основе анализа его графического отображения для выработки возможных направлений снижения вредного воздействия полей на население.

Материалы и методы

Графическое отображение структуры поля антенны при решении задачи оценки электромагнитной обстановки может быть получено при использовании метода расчетного прогнозирования, описанного в [4, 5]. Его особенностями являются, во-первых, привлечение электродинамической теории для моделирования структуры поля антенны и, во-вторых, рассмотрение наихудшего варианта сценария.

Для рассматриваемой геометрии задачи, когда размещаемая на крыше здания антенна базовой станции подвижной связи функционирует в частотном диапазоне 0,4..3,5 ГГц, при выборе электродинамической модели может быть использована лучевая теория представления электромагнитных волн [6]. В предположении, что излучатель размещается на расстоянии $z_f > 2L^2 / \lambda$ (где L – наибольший размер по вертикали источника излучения [4, с.53]; $\lambda = c / f$ – рабочая длина волны; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; f – рабочая частота, в Гц), т.е. размещается в дальней зоне относительно поверхности крыши, электромагнитное поле в присутствии отражающей поверхности конечных размеров (крыши) может быть разбито на три характерные области, как показано на рис. 1: область существования только прямого луча (область I), область суперпозиции прямого и отраженного луча (область II), область тени, где отсутствуют лучи (область III). Точка Φ соответствует положению фазового центра антенны. Интерференционные явления на границах между областями (границы «свет-тень») при оценке электромагнитной обстановки не учитываются [4, 6].

Для расчета плотности потока энергии в расчетных точках используются соотношения из Методических указаний [6] и монографии [4]:

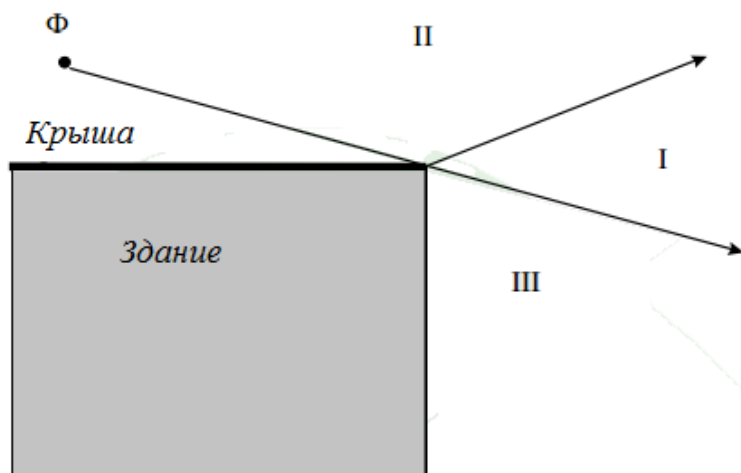


Рис. 1. Геометрия задачи

$$\Pi = \frac{1}{3.77} 30PG\eta \left(\frac{k_\phi F(\alpha)F(\varphi)}{R} \right)^2, \quad (1)$$

где P – мощность на входе антенно-фидерного тракта, Вт; G – коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя в направлении максимального излучения; η – коэффициент полезного действия в антенно-фидерном тракте; $k_\phi = 1,15..1,3$ – коэффициент, учитывающий двухлучевую модель распространения в условиях статистически неоднородной среды; R – расстояние от антенны до расчетной точки (наклонная дальность); α, φ – угловые координаты точки наблюдения.

Введение объекта – здания – в процесс расчета распределение плотности потока энергии, создаваемого антенной, требует перехода от системы координат, связанной с геометрией здания, удобной для практики, к системе координат, начало которой совпадает с фазовым центром антенны, а отсчет углов осуществляется от направления максимального излучения антенны. Полагая, что крыша здания имеет 4 угла, координаты которой в исходной декартовой системе координат заданы точками A, B, C, D , а направление максимального излучения антенны, размещенной на кромке крыши AB , образует с плоскостью крыши угол δ , то матрица поворота системы координат будет иметь вид [7]:

$$M = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\beta = \arctg \left(\frac{y_A - y_B}{x_B - x_A} \right) - \delta$.

При проведении расчетов в горизонтальной плоскости полагается, что расчетные точки не выходят за границы крыши, а сами точки размещаются в узлах прямоугольной сетки с задаваемым значением дискрета. Для получения приемлемых для практических целей результатов рекомендуется задавать его равным $0,25\lambda$. Положение вертикальной расчетной плоскости задается углом γ , отсчитываемым от направления максимального излучения антенны, которое после преобразования системы координат становится нулевым. Границы вертикального сечения задаются расстоянием от здания в метрах в одну и другую

стороны (в горизонтальной плоскости), а также положением верхнего нижнего краев относительно плоскости крыши. При задании верхней границы расчетной плоскости следует учитывать особенности построения поверхностей уровней в языковой среде *MathCad*: для обеспечения появления линий уровня порядка 10 мкВт/см² (величина предельно допустимого уровня [8]) требуется, чтобы данная граница проходила ниже положения фазового центра, где наблюдается максимальный уровень плотности потока энергии.

Обсуждение

Обсуждение начнем с анализа отличий разработанного программного продукта от известных. Для визуализации структуры электромагнитного поля, создаваемого антенной системы подвижной связи при ее размещении на крыше здания, авторами в языковой среде *MathCad* 15 разработан программный комплекс, описанный в [9]. Отличием данного комплекса от известных (например, [4, 10]) является возможность визуализации распределения плотности потока энергии, а не расчет границ санитарно-защитных зон, как предлагается в платной программе [10]. Кроме того, в отличие от программ, описанных в [4], расчет осуществляется не в отдельных точках, а сразу в плоскостях (горизонтальной и вертикальной) с учетом геометрии здания, что упрощает процесс анализа.

Разработанные программы обеспечивают построение графиков уровней плотности потока энергии в горизонтальном и вертикальном сечениях, проходящих через фазовый центр антенны, а также отображение геометрии задачи с учетом положения границ характерных областей. В совокупности данные рисунки позволяют исследовать структуру создаваемого антенной электромагнитного поля с учетом ее параметров. При этом путем изменения исходных данных можно исследовать влияние на распределение плотности потока энергии различных параметров антенны, как следует из анализа соотношения (1). Так, несложно заметить, что уменьшение мощности антенны или ее коэффициента усиления приводит к пропорциональному уменьшению уровня излучаемого антенной поля. В ряде случаев, как показано в [2], так и поступают операторы сотовой связи. Однако когда данная возможность исчерпана, то управлять структурой излучаемого электромагнитного поля можно изменением направленных свойств антенны. В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены распределения плотности потока энергии в вертикальной плоскости, проходящей через фазовый центр антенны и направление ее максимального излучения для антенн с различающимися направленными свойствами. При этом рис. 2 иллюстрирует случай, когда антенна является изотропной ($F(\varphi) = 1, F(\alpha) = |\sin(\alpha)|$), а рис. 3 соответствует случаю использования антенны с направленными свойствами, причем уровень заднего излучения в ее диаграмме направленности не превышает -30 дБ, что обычно обеспечивается у большинства антенн базовых станций подвижной связи. Мощность антенны при проведении исследований полагалась равной 20 Вт, как у типовой передающей антенны базовой станции транкинговой связи [4], рабочая частота – 915 МГц, коэффициент усиления принимался равным 14 дБ, а коэффициент полезного действия антенно-фидерного тракта составлял 96%. Высота размещения ее фазового центра над поверхностью крыши полагалась равной 5 метров, а сама антенна располагалась по центру одного из краев крыши здания, параметры которого взяты из [5].

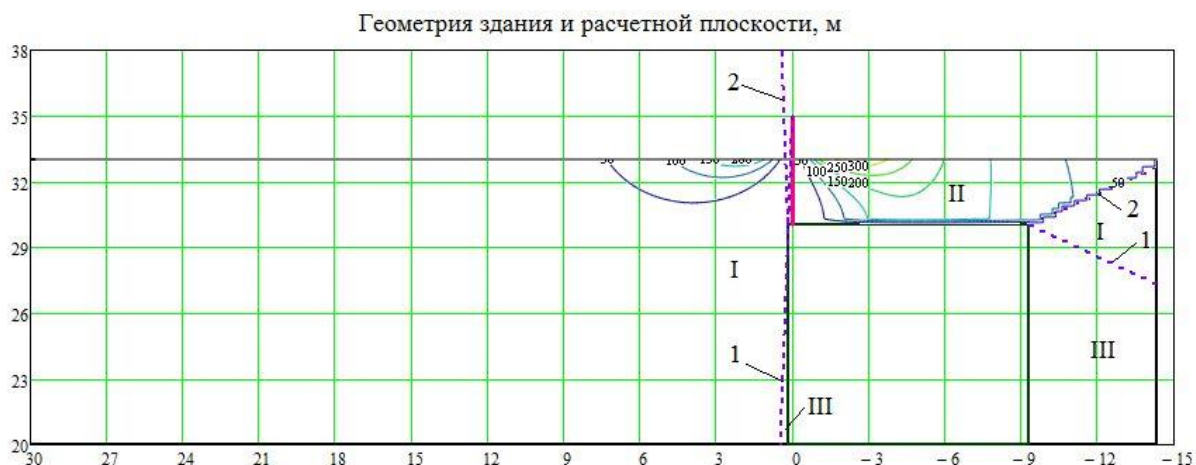


Рис. 2. Распределение плотности потока энергии антенны с изотропными свойствами

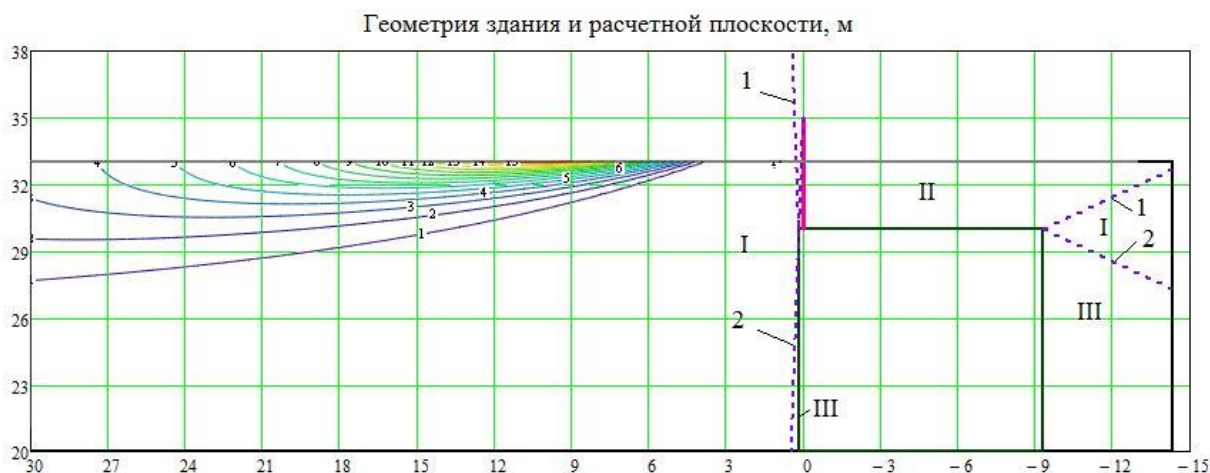


Рис. 3. Распределение плотности потока энергии антенны с минимальным уровнем задних лепестков

Результаты

Выполненный анализ полученных графических результатов показывает, для антенны с ненаправленными свойствами отражающая поверхность крыши усиливает поле практически в два раза. При этом уровни максимальной плотности могут заходить за края крыши, заканчиваясь по границе «свет-тень». Вне отражающей поверхности крыши структура поля повторяет форму диаграммы направленности антенны. Применение антенны с направленными свойствами (с пониженным уровнем заднего излучения) позволяет обеспечить безопасную для жизнедеятельности человека область на крыше здания, где размещается антенна, поскольку мощность антенны уходит в сторону от здания, на котором размещается антенна. Следствием этого является формулировка следующих рекомендаций, касающихся выбора мест размещения антенн базовых станций подвижной связи:

- антенны должны размещаться по периметру крыши здания, чтобы направления их максимального излучения не пересекали плоскость крыши;
- расположенные за пределами здания с установленной антенной жилые здания должны находиться за пределами санитарно-защитной зоны, отсчитываемой на высоте размещения фазового центра антенны.

Заклучение

Разработанный авторами программный комплекс при его использовании в процессе обучения специалистов в области инфокоммуникаций обеспечивает привитие им навыков оценки электромагнитной обстановки вблизи мест установки антенн базовых станций подвижной связи.

Примечания:

1. Информатизация сферы образования и науки России: стратегия развития / А.К. Пономарев, А.В. Пронин, В.А. Старых и др. // Информатизация образования и науки, 2012. №2(14). С.3-26.
2. О базовых станциях GSM, 3G и LTE – доступно и просто [Электронный ресурс] - URL: <http://tele2life.ru/1/content/view/69/66/> (дата обращения: 20.03.2015).
3. Довгуша В.В. Влияние естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / В.В. Довгуша, М.Н. Тионов, Л.В. Довгуша // Экология человека, 2009. № 12. С.3-9.
4. Сподобаев Ю.М. Основы электромагнитной экологии / Ю.М. Сподобаев, В.П. Кубанов М.: Радио и связь, 2000. 240 с.
5. МУК 4.3-1167-02. Методические указания по определению плотности потока мощности электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазонах частот 700 МГц – 30 ГГц. Утв. Председателем Госкомитета санитарно-эпидемиологического надзора РФ 7 октября 2002 года. [Электронный ресурс] - URL: <http://bestpravo.ru/rossijskoje/so-instrukcii/t5r.htm>. (дата обращения: 23.03.2015)
6. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 558 с.
7. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. М.: Наука, 1974. 832 с.
8. Гигиенические нормативы ГН 2.1.8./2.2.4.019-94. Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи [Электронный ресурс] - URL: <http://www.docload.ru/Basesdoc/5/5222/index.htm>. (дата обращения: 20.03.2015)
9. Звезда М.Ю. Программный комплекс для визуализации электромагнитной обстановки вблизи антенны сотовой связи / М.Ю. Звезда, Ю.А. Шокова, А.В. Шоков и др. // Сб. научн. тр. Междунар. научно-практ. конф. «Теоретические и прикладные вопросы науки и образования»: в 16 частях, Т.10. Тамбов, 31 января 2015. Тамбов, 2015. 164 с. С.70-74.
10. Программа SANZONE [Электронный ресурс] - URL: <http://www.ing-tv.ru/index/sanzone/0-53> (дата обращения: 20.03.2015).

References:

1. Informatizatsiya sfery obrazovaniya i nauki Rossii: strategiya razvitiya / A.K. Ponomarev, A.V. Pronin, V.A. Starykh i dr. // Informatizatsiya obrazovaniya i nauki, 2012. №2(14). С.3-26.
2. O bazovykh stantsiyakh GSM, 3G i LTE – dostupno i prosto [Elektronnyi resurs] - URL: <http://tele2life.ru/1/content/view/69/66/> (data obrashcheniya: 20.03.2015).
3. Dvgusha V.V. Vliyanie estestvennykh i tekhnogennykh elektromagnitnykh polei na bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti / V.V. Dvgusha, M.N. Tionov, L.V. Dvgusha // Ekologiya cheloveka, 2009. № 12. S.3-9.
4. Spodobaev Yu.M. Osnovy elektromagnitnoi ekologii / Yu.M. Spodobaev, V.P. Kubanov. M.: Radio i svyaz', 2000. 240 s.
5. MUK 4.3-1167-02. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu plotnosti potoka moshchnosti elektromagnitnogo polya v mestakh razmeshcheniya radiosredstv, rabotayushchikh v diapazonakh chastot 700 MGts – 30 GGts. Utv. Predsedatelem Goskomiteta sanitarno-epidemiologicheskogo nadzora RF 7 oktyabrya 2002 goda. [Elektronnyi resurs] - URL: <http://bestpravo.ru/rossijskoje/so-instrukcii/t5r.htm>. (data obrashcheniya: 23.03.2015)
6. Petrov B.M. Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2004. 558 s.

7. Korn G. Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov) / G. Korn, T. Korn. M.: Nauka, 1974. 832 s.
8. Gigienicheskie normativy GN 2.1.8./2.2.4.019-94. Vremennyye dopustimyye urovni (VDU) vozdeistviya elektromagnitnykh izlucheni, sozdavaemykh sistemami sotovoi radiosvyazi [Elektronnyi resurs] - URL: <http://www.docload.ru/Basesdoc/5/5222/index.htm>. (data obrashcheniya: 20.03.2015)
9. Zvezdina M.Yu. Programmnyi kompleks dlya vizualizatsii elektromagnitnoi obstanovki vblizi anteny sotovoi svyazi / M.Yu. Zvezdina, Yu.A. Shokova, A.V. Shokov i dr. // Sb. nauchn. tr. Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovaniya»: v 16 chastyakh, T.10. Tambov, 31 yanvarya 2015. Tambov, 2015. 164 s. S.70-74.
10. Programma SANZONE [Elektronnyi resurs] - URL: <http://www.ing-tv.ru/index/sanzone/o-53> (data obrashcheniya: 20.03.2015).

УДК 621.317.328

Визуализация распределения плотности потока энергии антенны системы подвижной связи в языковой среде MATHCAD

- ¹ Марина Юрьевна Звездина
² Юлия Александровна Шокова
³ Андрей Викторович Шоков
⁴ Сергей Николаевич Горбунов

¹⁻⁴ Донской государственный технический университет, Российская Федерация
 344000, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

¹ Доктор физико-математический наук, доцент
 E-mail: zvezdina_m@mail.ru

² Кандидат физико-математический наук, доцент

³ аспирант

⁴ аспирант

Аннотация. Рассмотрены вопросы визуализации процесса излучения антенны системы подвижной связи, устанавливаемой на крыше жилого здания. При этом характеристики направленности антенны могут задаваться как с использованием паспортных данных главных сечений, так с использованием аналитической зависимости. Разработанные авторами в языковой среде MathCad 15 программы обеспечивают в двух задаваемых перпендикулярных плоскостях графическое отображение создаваемого распределения плотности потока энергии. Положение плоскостей задается, но обязательным условием является прохождение через фазовый центр антенны. Расчет величины плотности потока энергии осуществляется с использованием соотношений, рекомендуемых Методическими указаниями МУК 4.3-1167-02 для антенн СВЧ диапазона. Достоверность проверялась путем сравнения с известными частными случаями. На программы получены Свидетельства о регистрации в Федеральном институте промышленной собственности. Приводятся примеры получаемых с использованием разработанных программ результатов моделирования, а также варианты формулируемых при этом рекомендаций. Показано, что применение данных программ в процессе обучения по радиотехническим направлениям подготовки обеспечивает привитие навыков по оценке электромагнитной обстановки вблизи мест установки антенн систем подвижной связи и определения способов регулировки величины плотности потока энергии в исследуемом направлении.

Ключевые слова: плотность потока энергии; антенны; системы подвижной связи; распределение плотности потока энергии; визуализация распределения в плоскостях; программный комплекс; оценка электромагнитной обстановки; информационные технологии; обучение по радиотехническим направлениям; рекомендации по снижению плотности потока энергии.