

УДК 621.391.812

Дымченко А.А., студент группы СЗИТС32 ФГБОУ ВО ДГТУ

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ АНТЕННЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Аннотация. Целью работы является повышение эффективности методов оценки электромагнитной обстановки вблизи антенны подвижной связи, установленной на крыше здания. Характеристика направленности антенны задается паспортными данными. Метод расчетного прогнозирования и геометрическая теория дифракции обеспечивают точность результатов. Визуализация распределения энергии позволяет применять результаты при социально ориентированном электромагнитном мониторинге, а также в процессе обучения студентов радиотехнических направлений навыкам его проведения.

Abstract. The work objective is to estimate electromagnetic environment near mobile communications aerial placed on a rooftop. Directivity characteristics are set with antenna passport data. Calculation forecast method and geometrical theory of diffraction promote the results accuracy. Visual representation of energy distribution makes it possible to apply the results in socially orientated electromagnetic monitoring and in electromagnetic monitoring coursework for students majoring in Radioelectronics.

Ключевые слова: социально ориентированный электромагнитный мониторинг, визуализация результатов, распределение плотности потока энергии, антенны, системы подвижной связи.

Keywords: socially orientated monitoring, visual representation of results, energy flux density distribution, antennae, mobile systems.

Введение

В современных условиях системы подвижной связи нашли широкое применение во всех областях человеческой деятельности [1]. Следствием этого явилась необходимость их размещения в жилых районах вблизи потребителей услуг, что, в свою очередь, привело к существенному повышению электромагнитного фона в селитебных районах, и увеличению воздействия электромагнитных полей на здоровье людей [2, 3].

Невозможность проведения профилактических мероприятий по снижению вредного фактора делает необходимым введение электромагнитного мониторинга. Одной из его разновидностей является социально ориентированный мониторинг, предполагающий информирование населения о состоянии электромагнитного фона с использованием доступных методов, в том числе путем визуализации электромагнитной обстановки вблизи мест установки антенн.

Многообразие конструкций антенн, а также мест их размещения требует для визуализации распределения плотности потока энергии наличия программного комплекса, обеспечивающего получение достоверных результатов в понятной неспециалисту форме. Известные программные продукты, например, *SanZone* и *RPS2* [4, 5], не позволяют выявлять в структуре электромагнитного поля влияние факторов, связанных с особенностями места размещения антенны, а, следовательно, и давать рекомендации по улучшению электромагнитной обстановки.

Цель работы – разработка программного продукта, обеспечивающего получение достоверных результатов о структуре электромагнитного поля вблизи антенн систем подвижной связи и визуализация данной структуры в виде контурных графиков.

1. Метод расчета

Обеспечение комплексного исследования структуры электромагнитного поля антенны с учетом особенностей распространения радиоволн, обусловленных местом размещения антенны, а также влиянием элементов конструкции антенны достигается при использовании методов расчетного прогнозирования, базирующихся на применении строгих электродинамических моделей [6]. Применительно к рассматриваемой задаче нахождения структуры электромагнитного поля вблизи антенны подвижной

связи СВЧ диапазона, размещенной на крыше высотного здания, в соответствии с [7] используется модель, объединяющая две модели, показанные на рис.1: модель двухлучевого распространения плоской электромагнитной волны (см. рис.1,а) и модель дифракции плоской электромагнитной волны на бесконечном клине (см. рис.1,б).

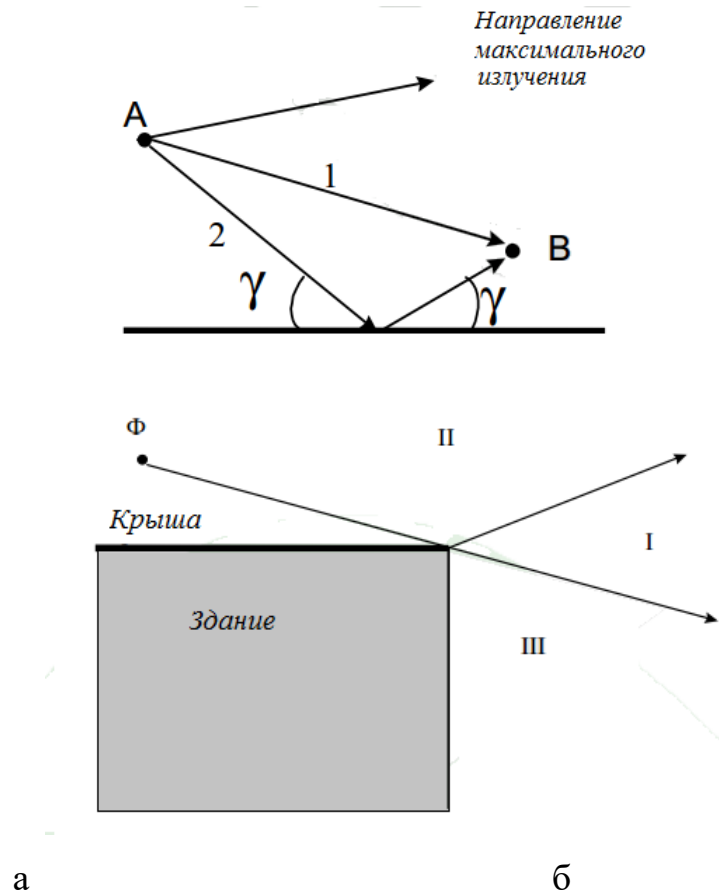


Рис.1. Геометрия задачи

В качестве ограничений выступают предположения об идеальной проводимости отражающей поверхности, а также о размещении излучателя на высоте, обеспечивающую формирование плоской волны при ее падении на подстилающую поверхность.

Рассмотренная электродинамическая модель позволяет выделить в структуре электромагнитного поля вблизи антенны три области (зоны): область прямого освещения лучом (зона I, луч 1); область интерференции (зона II), где учитываются как прямой луч 1, так и отраженный от

поверхности луч 2; область тени (зона III), где полагается, что напряженность поля равна нулю.

В диапазоне функционирования систем подвижной связи, т.е. УКВ и ОВЧ, можно предположить, что здание представляет собой прямоугольный параллелепипед, координаты A, B, C, D углов крыши которого известны. Положение антенны на крыше здания фиксировано и определяется координатами $F = \{x_f, y_f, z_f\}$. На высоту размещения антенны накладывается ограничение $z_f > 2L^2 / \lambda$ (L – наибольший размер по вертикали источника излучения [6]; $\lambda = c / f$ – рабочая длина волны; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; f – рабочая частота, в Гц), позволяющее использовать паспортные данные характеристики направленности антенны в главных сечениях $F(\theta), F(\varphi')$, Здесь θ, φ' – угол места и азимут в системе координат, связанной с фазовым центром антенны и направлением максимального излучения антенны, как показано на рис.2.

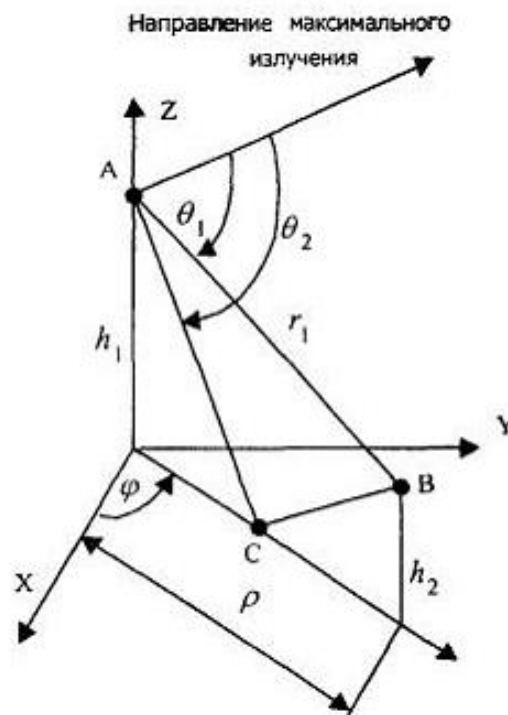


Рис.2. Система координат с привязкой к фазовому центру антенны

Требуется построить распределение плотности потока энергии от антенны в вертикальной плоскости, проходящей через фазовый центр антенны.

В соответствии с «Методическими указаниями ...» [7] величина ППЭ [мкВт/см²], создаваемого антенной, рассчитывается по найденному значению амплитуды напряженности электрического поля E [В/м] выражением:

$$\Pi = \frac{E^2}{3,77}, \quad (1)$$

$$E = \sqrt{30PG\eta k_\phi} F(\alpha) F(\varphi) / R, \quad (2)$$

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.

При оценке электромагнитной обстановки в местах размещения радиотехнических средств традиционно ориентируются на наихудший с точки зрения вреда по экологическому фактору вариант параметров антенны [6, 7]. С учетом данного предположения максимально возможный размер санитарно-защитной зоны рассчитывается в направлении максимального излучения антенны. Поскольку в данном направлении $F(\theta) = F(\varphi') = 1$, то максимальный размер в указанном направлении может быть найден с использованием соотношения:

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{30PG\eta}{3,77a}}, \quad (3)$$

где $a = 10$ мкВт/см² – величина предельно допустимого уровня плотности потока энергии в рассматриваемом диапазоне частот [8], $k_\phi = 1$.

Величина плотности потока энергии в точке наблюдения М определяется по следующему алгоритму [6, 7]:

- если точка наблюдения принадлежит области III, то

$$\Pi = 0, \quad (4)$$

- если точка наблюдения принадлежит области I, то плотность потока энергии определяется выражением:

$$\Pi = \Pi(\theta_1, \varphi_1, r_1), \quad (5)$$

- если точка наблюдения принадлежит области II, то плотность потока энергии определяется выражением:

$$\Pi = \Pi(\theta_1, \varphi_1, r_1) + \Pi(\theta_2, \varphi_2, r_2). \quad (6)$$

Используемые в данных соотношениях параметры показаны на рис. 2 и находятся на основе формул:

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{h_1 - h_2}{r_1}\right), \quad \theta_2 = \theta_1 + \arctg\left(\frac{h_1 + h_2}{\rho}\right) - \arctg\left(\frac{h_1 - h_2}{\rho}\right), \quad (7)$$

$$r_1 = \sqrt{\rho^2 + (h_1 - h_2)^2}, \quad r_2 = \sqrt{\rho^2 + (h_1 + h_2)^2}, \quad (8)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi = \arctg(y_M / x_M), \quad \rho = \sqrt{x_M^2 + y_M^2}. \quad (9)$$

2. Результаты моделирования

С использованием приведенных выше соотношений в языковой среде *MathCad 15* была разработана программа для визуализации структуры электромагнитного поля в вертикальной плоскости, проходящей через фазовый центр антенны системы подвижной связи.

Характеристика направленности антенны вводилась в виде двух файлов оцифрованных паспортных данных главных сечений диаграммы направленности, взятых с сайта [9]. Электрические параметры исследуемых типовых антенн базовых станций систем подвижной связи приведены в таблице 1.

Таблица 1. Электрические параметры типовых антенн базовых станций

Модель антенны	f , МГц	G , дБ	Ширина ДН, град		Макс. допустимая вх. мощность P , Вт
			в гор. пл.	в верт. пл.	
Антенны транкинговой связи стандарта <i>TETRA</i>					
<i>RAV-2UL-90</i>	400-430	8	37	90	400
<i>RAV-4UL-90</i>	400-430	11	18	90	400
<i>RAO-4U-120</i>	400-470	8	36	120	400
<i>RAX-2UL-70</i>	400-430	9	36	70	400
<i>RAX-4UL-70</i>	400-430	12	18	70	400
<i>RAO-2U-60</i>	380-440	10	36	60	500
Антенны системы сотовой связи стандарта <i>GSM (3G)</i>					
<i>RAO-11GL-60</i>	860-970	11	30	60	50
<i>RAO3-10GH-60</i>	1710-1880	13	18	60	50
<i>RAO-14GL-70</i>	860-970	14	15	70	50
Антенны системы сотовой связи стандарта <i>LTE (4G)</i>					
<i>RAX-14Yota-70</i>	2400-2700	14.2	8	65	50

Анализ данной таблицы позволил сократить числа исследуемых вариантов конструкций антенн до четырех: антенны транкинговой связи *RAO-2U-60* и трех антенн сотовой связи: *RAO3-10GH-60*, *RAO-14GL-70* и *RAX-14Yota-70*. Данные варианты выбирались из условия либо максимальной мощности излучения (первый случай), либо максимального значения коэффициента усиления (остальные случаи). Поскольку справедливость выбранной модели определяется высотой размещения антенны и ее геометрическими размерами, то в таблице 2 приводятся параметры выбранных антенн и требуемая минимальная высота ее размещения. При

проведении исследований полагалось, для рассмотрения контрастных вариантов антенны размещалась посередине одной из кромок, а направление ее максимального излучения ориентировалось в сторону от здания, перпендикулярно краю крыши. Такое размещение относится, как показано в [10], к одному из типичных вариантов.

Результаты исследований приведены на рис. 3-5.

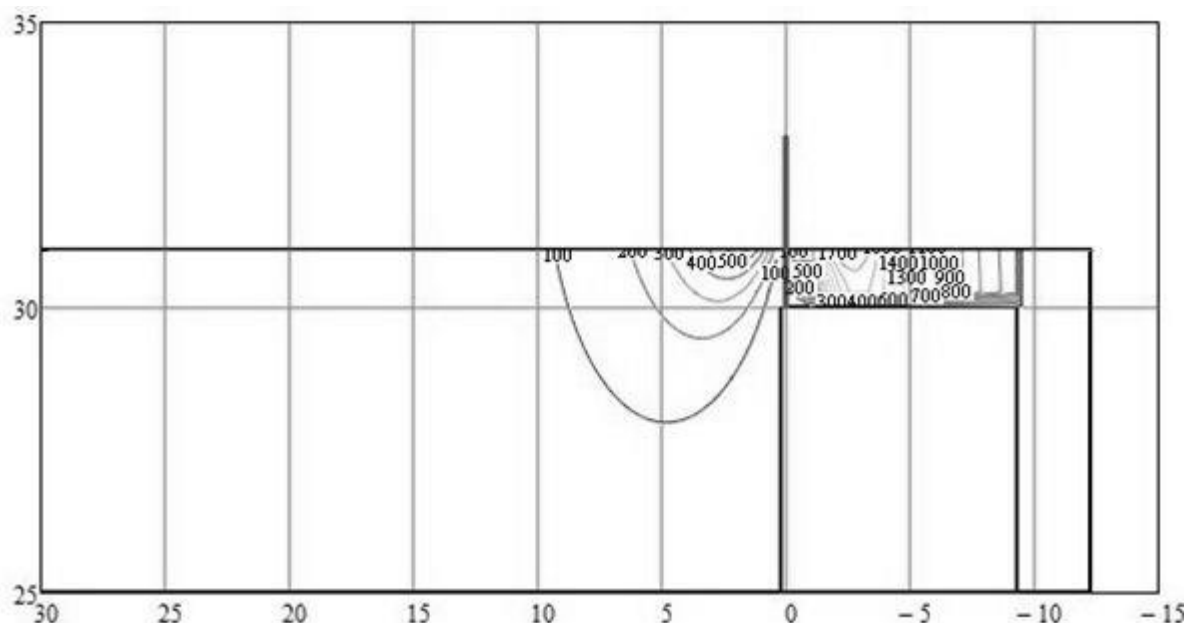


Рис.3. Распределение плотности потока энергии для всенаправленной антенны

Таблица 2. Электрические параметры исследуемых антенн

Модель антенны	f , МГц	КУ G , дБ	P , Вт	λ , м	L , м	z_f , м	Отношение $\frac{P_{\text{вп}}}{P_{\text{зад}}}$, мкВт/см ²
<i>RAO-2U-60</i>	415	10	500	0.723	1.235	4.2	$187.9 / 7.8 \cdot 10^{-2}$
<i>RAO3-10GH-60</i>	1795	13	50	0.167	0.52	3.2	$14.2 / 8 \cdot 10^{-4}$
<i>RAO-14GL-70</i>	915	14	50	0.328	1.018	6.3	$105.8 / 2.1 \cdot 10^{-2}$
<i>RAX-14Yota-70</i>	2550	14.2	50	0.118	0.45	3.5	$14.6 / 5.9 \cdot 10^{-3}$

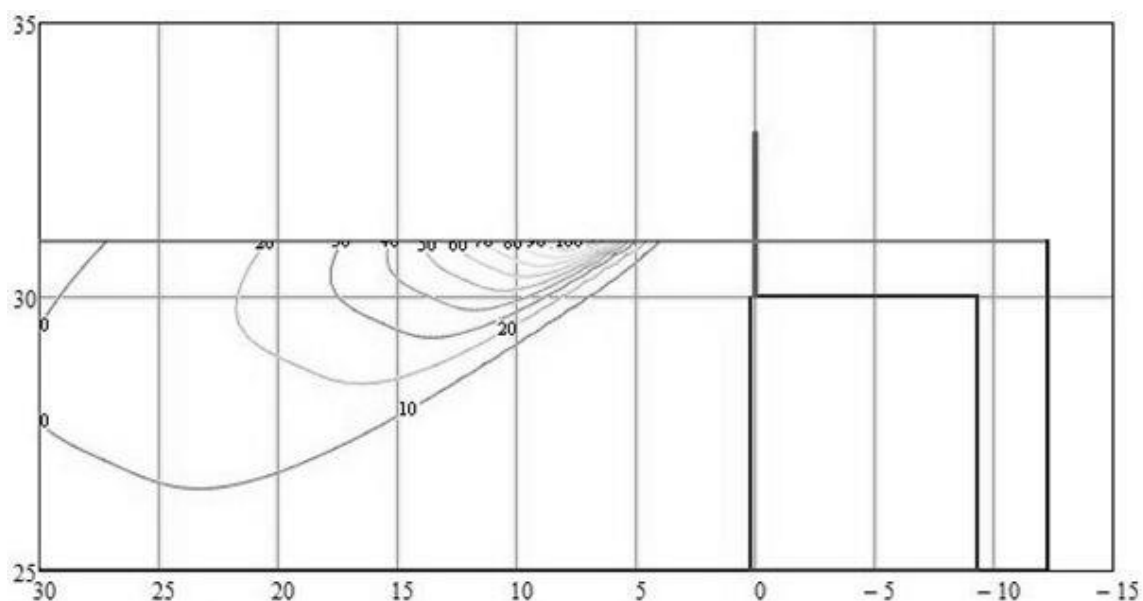


Рис.4. Распределение плотности потока энергии для антенны *RAO-14GL-70*

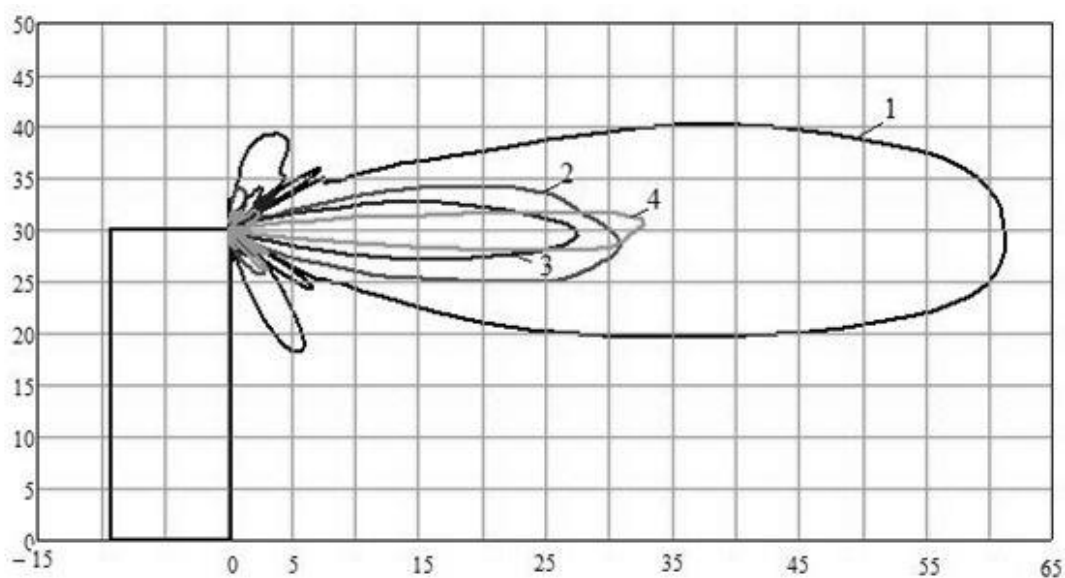


Рис.5. Границы санитарно-защитной зоны для различных типов антенн:
1 - антенна *RAO-2U-60*; 2 – антенна *RAO-14GL-70*; 3 – антенна *RAO3-10GH-60*; 4 – антенна *RAX-14Yota-70*

Выполненный анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

- размещение антенны на крыше высотного здания приводит к формированию неоднородного электромагнитного поля в вертикальной плоскости вблизи антенны;

- над крышей за счет отражения излучаемого антенной электромагнитного поля наблюдается увеличение уровня плотности потока энергии;

- в переднем полупространстве, где отражающая поверхность отсутствует, формируемое электромагнитное поле совпадает по своей структуре с полем излучателя в свободном пространстве. Для всенаправленной антенны формируется полусфера, характерная диаграммы направленности элементарного электрического вибратора, Для антенны с направленными свойствами структура поля повторяет форму диаграммы направленности антенны.

Полученные результаты позволяют обосновывать рекомендации по размещению антенн базовых станций подвижной связи на крышах жилых зданий. В частности, можно рекомендовать для обеспечения безопасного уровня плотности потока энергии в пределах крыши жилого здания размещать антенны подвижной связи по периметру крыши, чтобы направления их максимального излучения были ориентированы во внешнюю область, а не на небольшом расстоянии вокруг единого фазового центра. Уменьшение размеров санитарно-защитной зоны достигается снижением мощности передатчика. Так, уменьшение мощности передатчика в N раз сокращает максимальный размер санитарно-защитной зоны в \sqrt{N} раз.

Таким образом, разработанная программа, обеспечивающая визуализацию распределения плотности потока энергии вблизи антенн подвижной связи, размещаемых на крыше здания, дает возможность ее использования при проведении социально ориентированного электромагнитного мониторинга.

Результаты исследований, полученные в выпускной квалификационной работе, были опубликованы в работах [11, 12]. Разработанная программа может быть использована в учебном процессе при проведении занятий на кафедре «Радиоэлектроника» по дисциплинам «Устройства СВЧ и антенны»,

«Антенны и распространение радиоволн», а также в ходе дипломного проектирования при проведении оценки электромагнитной безопасности в местах установки антенн систем подвижной связи.

Заключение

Разработанная в языковой среде программа для моделирования распределения в вертикальной плоскости плотности потока энергии антенны подвижной связи, установленной на крыше высотного здания, обеспечивает достаточные для практических целей результаты, поскольку основывается на использовании строгих методов расчетного прогнозирования, учитывающих особенности как распространения радиоволн, так и влияния элементов конструкции антенны.

Визуализация результатов моделирования позволяет, во-первых, использовать данную программу для оценки электромагнитной обстановки в рамках социально ориентированного электромагнитного мониторинга. Во-вторых, обосновывать рекомендации по размещению антенн базовых станций подвижной связи на крышах жилых зданий, а также формулировать мероприятия по снижению уровня напряженности электромагнитного поля на этапе проектирования мест размещения антенн. В-третьих, использовать разработанный научно-методический аппарат в процессе обучения студентов радиотехнических направлений методам оценки электромагнитной обстановки вблизи антенн подвижной связи, устанавливаемых на крышах зданий.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27.07.2010г. №210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг».
2. Пчельник О.А., Нефёдов П.В. Мобильная связь и заболеваемость населения Краснодарского края // Фундаментальные исследования. - 2014. - №10-1. - С.153-159.
3. Довгуша В.В., Тихонов М.Н., Довгуша Л.В. Влияние естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности // Экология человека. - 2009. - №12. - С. 3-9.
4. Программа SanZone: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.ing-tv.ru/index/sanzone/0-53> (дата обращения: 7.11.2015).
5. RPS2: Radio Planning System 2. [Сайт Центра компьютерных технологий «Связь Телеком Софт»]: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.rps2.ru/> (дата обращения: 6.11.2015)
6. Сподобаев Ю.М., Тихонов А.И., Кубанов В.П. Экология. – Самара: ООО «Офорт», 2005. – 323 с.
7. МУК 4.3.1167-02. Методические указания по определению плотности потока мощности электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц. Утв. Председателем Госкомитета санитарно-эпидемиологического надзора РФ 7 октября 2002 года. Представлены Минсвязи России №НТУ-1/237 от 20.04.01г.): [Электронный ресурс]: URL: <http://bestpravo.ru/rossijskoje/so-instrukcii/t5r.htm>. (дата обращения: 20.11.2015).
8. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. Утв. Главным гос. санитарным врачом России 13 марта 2003 года. Рег. номер 4329. Дата введения 1 июня 2003 года: [Электронный ресурс]: URL:

http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_563.html. (дата обращения: 26.11.2015).

9. Базовое антенно-фидерное оборудование. Сайт «Радиал»: [Электронный ресурс]: URL: http://www.radial.ru/catalog/antennas/vertical/a3_cdma/ (дата обращения: 29.11.2015).

10. О базовых станциях GSM, 3G и LTE – доступно и просто: [Электронный ресурс]: URL: <http://tele2life.ru/1/content/view/69/66/> (дата обращения: 27.11.2015).

11. Dymchenko, A.A. Electromagnetic situation visual representation near mobile base station antenna / M.Yu. Zvezdina, Yu.A. Shokova, A.V. Shokov, A.A. Dymchenko, P.A. Parhomenko // International Science Journal Theoretical & Applied Science. - 2015. №3 (23). - P.10-17; URL: <http://www.T-Science.org>; doi: <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2015.03.23.3>.

12. Дымченко, А.А. Моделирование электромагнитной обстановки вблизи антенны системы подвижной связи на крыше жилого здания / М.Ю. Звездина, Ю.А. Шокова, А.В. Шоков, А.А. Дымченко, П.А. Пархоменко // Тр. Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, ч.2. - Ростов н/Д: ПЦ «Университет», 2015. - 345 с. - С. 185-189.