

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ АПЕРТУРНОЙ СЛУЧАЙНОЙ АНТЕННЫ

Маслов О.Н., Раков А.С., Сидоренко А.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: maslov@psati.ru

В статье приведены результаты исследования структуры электромагнитного поля (ЭМП), создаваемого трехэлементной апертурной случайной антенной (АСА) прямоугольной конфигурации. Представлены результаты моделирования структуры ЭМП, создаваемого АСА в полосе частот 5 кГц ... 5 ГГц.

Ключевые слова: апертурная случайная антенна, математическое и компьютерное моделирование, структура электромагнитного поля, электрическая и магнитная составляющие, волновое сопротивление среды.

Введение

Направленные свойства апертурной случайной антенны (АСА) [1] в виде прямоугольного отверстия исследованы в [2-4] методом статистического имитационного моделирования (СИМ) на частотах, ограниченных снизу условиями применимости разработанной математической модели (ММ). В [5-6] представлены ММ и соответствующая ей СИМ-модель, свободные от ограничений [2-4] для электрической E -составляющей электромагнитного поля (ЭМП). В настоящей статье эти данные дополнены результатами анализа и моделирования магнитной H -составляющей ЭМП – что необходимо, поскольку в реальных условиях точка наблюдения M_S может находиться в зоне Френеля ЭМП АСА. Разработка ММ и СИМ-модели АСА является важным этапом проектирования системы защиты конфиденциальной информации (КИ) коммерческого назначения от утечки во внешнюю среду через АСА [7-10].

Математическая модель ЭМП АСА

Геометрию задачи иллюстрирует рис. 1, где элемент АСА, расположенный в точке M_A , представляет собой излучающий элемент Гюйгенса (ЭГ) с площадью $dS = dx \cdot dy$, в котором виртуальный электрический ток $i_{\mathcal{E}} = E_A dx / Z_C$ и направлен вдоль оси y ; магнитный ток $i_{\mathcal{M}} = -E_A dy$ и направлен вдоль оси x ; где E_A – амплитуда напряженности поля, возбуждающего АСА; Z_C – волновое сопротивление окружающей среды.

Такой излучатель можно представить в виде двух взаимно перпендикулярных элементарных излучателей: электрического (ЭЭИ) длиной $l_{\mathcal{E}}$ с током $i_{\mathcal{E}}$ и магнитного (ЭМИ) длиной $l_{\mathcal{M}}$ с током $i_{\mathcal{M}}$, совмещенные центры которых расположены в центре локальной системы декартовых и сферических координат, который совпадает с точкой $M_A(x; y)$, как это показано на рис. 1.

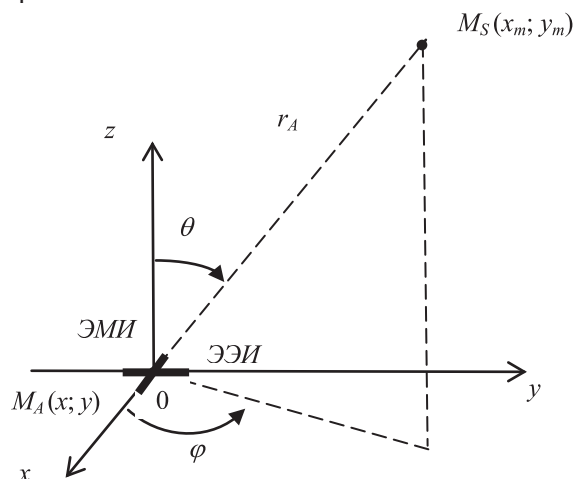


Рис. 1. Расположение ЭЭИ и ЭМИ в точке $M_A(x; y)$ на плоскости S_A в системе совмещенных локальных декартовых и сферических координат

При возбуждении ЭГ в гармоническом режиме комплексные амплитуды квадратурных составляющих (КС) векторов $\dot{\vec{E}}_{\mathcal{E}\Gamma}$ и $\dot{\vec{H}}_{\mathcal{E}\Gamma}$ согласно [11] будут равны:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \dot{\vec{E}}_{\mathcal{E}\Gamma} &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{4\pi r^2} \left\{ [\vec{l}_{0M} \vec{r}_0] + 3(\vec{l}_{0\mathcal{E}} \vec{r}_0) \vec{r}_0 - \vec{l}_{0\mathcal{E}} \right\}; \\ \operatorname{Im} \dot{\vec{E}}_{\mathcal{E}\Gamma} &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{4\pi V_0} \left\{ \frac{\omega}{r} ([\vec{r}_0 [\vec{r}_0 \vec{l}_{0\mathcal{E}}]] + [\vec{l}_{0M} \vec{r}_0]) - \frac{V_0^2}{\omega r^3} (3(\vec{l}_{0\mathcal{E}} \vec{r}_0) \vec{r}_0 - \vec{l}_{0\mathcal{E}}) \right\}; \\ \operatorname{Re} \dot{\vec{H}}_{\mathcal{E}\Gamma} &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{4\pi Z_C r^2} \left\{ [\vec{l}_{0\mathcal{E}} \vec{r}_0] - 3(\vec{l}_{0M} \vec{r}_0) \vec{r}_0 + \vec{l}_{0M} \right\}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Im } \dot{H}_{\text{ЭГ}} = \frac{\dot{E}_A dx dy}{4\pi V_0 Z_C} \left\{ \frac{\omega}{r} \left([\vec{r}_0 [\vec{r}_0 \vec{l}_{0M}]] - [\vec{l}_{0\text{Э}} \vec{r}_0] \right) + \frac{V_0^2}{\omega r^3} \left(3(\vec{l}_{0M} \vec{r}_0) \vec{r}_0 - \vec{l}_{0M} \right) \right\}. \quad (2)$$

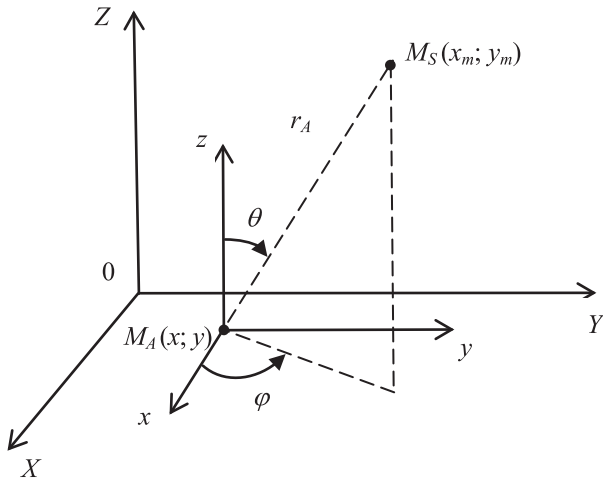


Рис. 2. Расположение ЭГ в точке $M_A(x, y)$ на плоскости S_A в совмещенных системах декартовых глобальных координат и локальных и сферических локальных координат

Так как единичные векторы, соответствующие принятому расположению ЭГ в глобальной и локальной системах декартовых координат, одинаковы: $\vec{l}_{0\text{Э}} = \vec{y}_0$; $\vec{l}_{0M} = \vec{x}_0$, в совмещенных локальных декартовых и сферических координатах (см. рис. 1-2) единичный вектор $\vec{r}_0 = \vec{x}_0 \cos \varphi \sin \theta + \vec{y}_0 \sin \varphi \sin \theta + \vec{z}_0 \cos \theta$.

Отметим также, во-первых, что для n -ой гармоники $\omega_n = 2\pi V_0 / \lambda_n$ и в (1)-(2) для КИ-

сигнала с заданным энергетическим спектром вместо ω и λ фигурируют параметры ω_n и λ_n . Во-вторых, что при выводе (1)-(2) учтено предполагаемое равенство значений волнового сопротивления среды Z_C в раскрытой АСА и внешнем пространстве.

В-третьих, что расстояние $r = r_A$ здесь может как соответствовать, так и не соответствовать условию $kr_A \gg 1$ для дальней (волновой) зоны Фраунгофера, что являлось ограничением в [2-4], где $k = 2\pi / \lambda$ – волновое число, однако размеры каждого элементарного излучателя в составе АСА (моделируемого в виде ЭГ) $\Delta x \approx dx$ и $\Delta y \approx dy$ должны отвечать условиям $k\Delta x \ll 1$; $k\Delta y \ll 1$, и это необходимо будет учитывать при разбиении АСА на элементы с учетом текущих значений r_A и λ .

Для вычисления уровней E - и H -составляющих ЭМП от АСА путем интегрирования полей, создаваемых всеми элементами ее раскрытия, целесообразно перейти в глобальную систему декартовых координат. Выполним векторные преобразования в (1)-(2), учтем, что $\omega = 2\pi V_0 / \lambda$, и запишем в окончательном виде КС ортогональных составляющих (ОС) комплексных амплитуд рассматриваемых векторов:

$$\begin{aligned} \text{Re } \dot{E}_X &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta \cdot \left(\frac{3}{2\pi r^2} \right); & \text{Im } \dot{E}_X &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta \cdot \left(\frac{1}{\lambda r} - \frac{3\lambda}{4\pi^2 r^3} \right); \\ \text{Re } \dot{E}_Y &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot (3\sin^2 \varphi \sin^2 \theta - 1 - \cos \theta) \cdot \left(\frac{1}{2\pi r^2} \right); \\ \text{Im } \dot{E}_Y &= -\frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot (\cos^2 \varphi \sin^2 \theta + \cos^2 \theta + \cos \theta) \cdot \left(\frac{1}{\lambda r} \right) - \frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot (3\sin^2 \varphi \sin^2 \theta - 1) \cdot \left(\frac{1}{4\pi^2 r^3} \right); \\ \text{Re } \dot{E}_Z &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot \sin \varphi \sin \theta (3\cos \theta + 1) \cdot \left(\frac{1}{2\pi r^2} \right); \\ \text{Im } \dot{E}_Z &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot \sin \varphi \sin \theta (\cos \theta + 1) \cdot \left(\frac{1}{\lambda r} \right) - \frac{\dot{E}_A dx dy}{2} \cdot \sin \varphi \sin \theta \cos \theta \cdot \left(\frac{3\lambda}{4\pi^2 r^3} \right); \\ \text{Re } \dot{H}_X &= -\frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} (3\cos^2 \varphi \sin^2 \theta - \cos \theta - 1) \left(\frac{1}{2\pi r^2} \right); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Im} \dot{H}_x &= \frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} (\sin^2 \varphi \sin^2 \theta + \cos^2 \theta + \cos \theta) \left(\frac{1}{\lambda r} \right) + \frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} (3 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta - 1) \left(\frac{\lambda}{4\pi^2 r^3} \right); \\ \operatorname{Re} \dot{H}_y &= -\frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta \left(\frac{3}{2\pi r^2} \right); \quad \operatorname{Im} \dot{H}_y = \frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} \sin \varphi \sin \theta \sin^2 \theta \left(\frac{1}{\lambda r} + \frac{3\lambda}{4\pi^2 r^3} \right); \\ \operatorname{Re} \dot{H}_z &= -\frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} \cos \varphi \sin \theta (1 + 3 \cos \theta) \left(\frac{1}{2\pi r^2} \right); \\ \operatorname{Im} \dot{H}_z &= -\frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} \cos \varphi \sin \theta (1 + \cos \theta) \left(\frac{1}{\lambda r} \right) + \frac{\dot{E}_A dx dy}{2Z_C} \cos \varphi \sin \theta \cos \theta \left(\frac{3\lambda}{4\pi^2 r^3} \right). \quad (4) \end{aligned}$$

Соотношения (3)-(4) позволяют вычислить КС и ОС векторов \vec{E}_m и \vec{H}_m на всех представляющих практический интерес расстояниях от АСА. В дальней зоне поля ЭГ для модулей (3) и (4) имеет место

$$|E_m| = E_A dx dy (1 + \cos \theta) / 2\lambda r = |H_m| Z_C, \quad (5)$$

что соответствует [12].

Формулы (1)-(7) представляют собой ММ ЭМП, которое создает ЭГ, расположенный в точке M_A с координатами $x; y$, в точке наблюдения M_S с координатами $x_m; y_m$ (см. рис. 2). Можно считать, что их уровни являются дифференциалами КС и ОС для ЭМП, создаваемого АСА в целом:

$$\begin{aligned} d\dot{E}_{XS} &= \bar{x}_0 (\operatorname{Re} \dot{E}_X + j \operatorname{Im} \dot{E}_X); \\ d\dot{E}_{YS} &= \bar{y}_0 (\operatorname{Re} \dot{E}_Y + j \operatorname{Im} \dot{E}_Y); \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d\dot{E}_{ZS} &= \bar{z}_0 (\operatorname{Re} \dot{E}_Z + j \operatorname{Im} \dot{E}_Z), \\ d\dot{H}_{XS} &= \bar{x}_0 (\operatorname{Re} \dot{H}_X + j \operatorname{Im} \dot{H}_X); \\ d\dot{H}_{YS} &= \bar{y}_0 (\operatorname{Re} \dot{H}_Y + j \operatorname{Im} \dot{H}_Y); \quad (7) \\ d\dot{H}_{ZS} &= \bar{z}_0 (\operatorname{Re} \dot{H}_Z + j \operatorname{Im} \dot{H}_Z), \end{aligned}$$

где нижние индексы «S» соответствуют ОС и КС для АСА в целом. Алгоритм определения

$$|E| = |\dot{E}_S| = \left[(\operatorname{Re} \dot{E}_{XS})^2 + (\operatorname{Im} \dot{E}_{XS})^2 + (\operatorname{Re} \dot{E}_{YS})^2 + (\operatorname{Im} \dot{E}_{YS})^2 + (\operatorname{Re} \dot{E}_{ZS})^2 + (\operatorname{Im} \dot{E}_{ZS})^2 \right]^{1/2}; \quad (8)$$

$$|H| = |\dot{H}_S| = \left[(\operatorname{Re} \dot{H}_{XS})^2 + (\operatorname{Im} \dot{H}_{XS})^2 + (\operatorname{Re} \dot{H}_{YS})^2 + (\operatorname{Im} \dot{H}_{YS})^2 + (\operatorname{Re} \dot{H}_{ZS})^2 + (\operatorname{Im} \dot{H}_{ZS})^2 \right]^{1/2}. \quad (9)$$

Результаты расчета уровней ЭМП трехэлементной АСА

На рис. 3-4 в качестве примера представлены результаты расчета распределений $|E|$ и $|H|$ в пределах прямоугольной плоскости с размерами

уровней ОС и КС реализуется по следующей схеме:

1) задать во внешней среде точку наблюдения M_S с фиксированными координатами $x_m; y_m; z_m$;

2) задать на раскрыве АСА точку M_A с текущими координатами $x; y; z$;

3) определить согласно рис. 1-2 текущие значения $\sin \varphi; \cos \varphi; \cos \theta$ и r_A ;

4) вычислить согласно (3)-(4) уровни КС и ОС для векторов ЭМП, создаваемого в точке M_S элементом раскрыва АСА, размещенным в точке M_A с координатами $x; y; z$;

5) повторить действия согласно п. 2-4 для всех точек M_A – то есть проинтегрировать путем численного суммирования уровни ОС и КС, создаваемые в точке M_S всеми элементами раскрыва АСА;

6) сгруппировать результаты интегрирования по КС и ОС в соответствии с (1)-(9).

Результатом интегрирования по всем апертурам, входящим в состав АСА произвольной конфигурации (как односвязной, так и многосвязной), являются действительные и мнимые части (то есть КС) составляющих напряженности поля: ОС $\dot{E}_{XS}; \dot{E}_{YS}; \dot{E}_{ZS}$ и $\dot{H}_{XS}; \dot{H}_{YS}; \dot{H}_{ZS}$. Соответствующие амплитудные значения векторов E -составляющей $|E|$ и H -составляющей $|H|$ ЭМП АСА при этом будут равны

20×20 м², удаленной от АСА на расстояние 30 м, найденные согласно (8)-(9) для частот: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц, которые выражены, соответственно, в мВ/м и мА/м. На рис. 5 показаны аналогичные распределения отношения

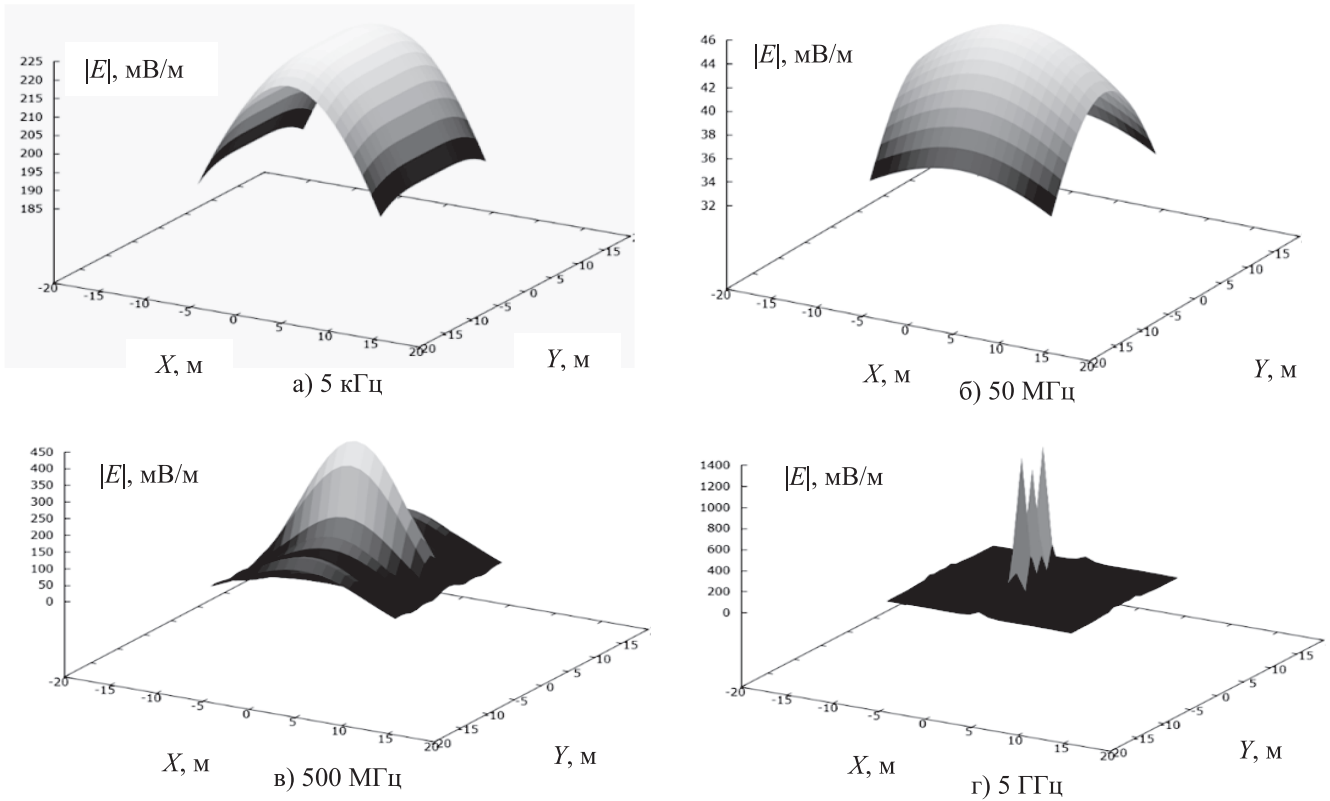


Рис. 3. Распределение модуля напряженности поля для электрической E -составляющей ЭМП трехэлементной АСА в заданной пространственной области на частоте: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц

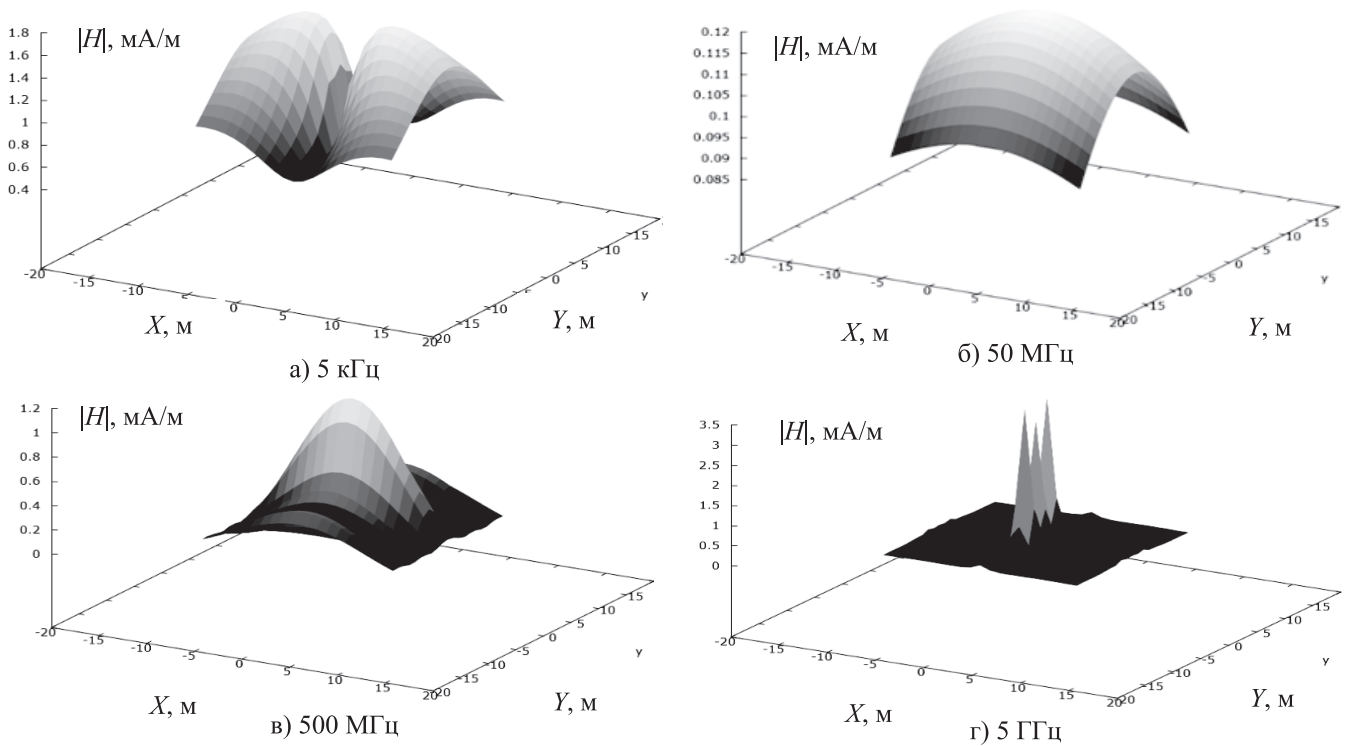


Рис. 4. Распределение модуля напряженности поля для магнитной H -составляющей ЭМП трехэлементной АСА в заданной пространственной области на частоте: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц

$Z_C = |E|/|H|$; Ом, на частотах: а) 5 кГц; б) 500 кГц; в) 5 МГц; г) 50 МГц; д) 500 МГц; е) 5 ГГц.

По аналогии с [2; 10] рассматриваемая АСА при этом представляла собой трехэлементную решетку

из прямоугольных апертур с размерами $1,5 \times 1,8 \text{ м}^2$, разделенных по горизонтали промежутками 0,5 м.

Анализ полученных расчетных данных показывает, что в области низких частот 5 кГц

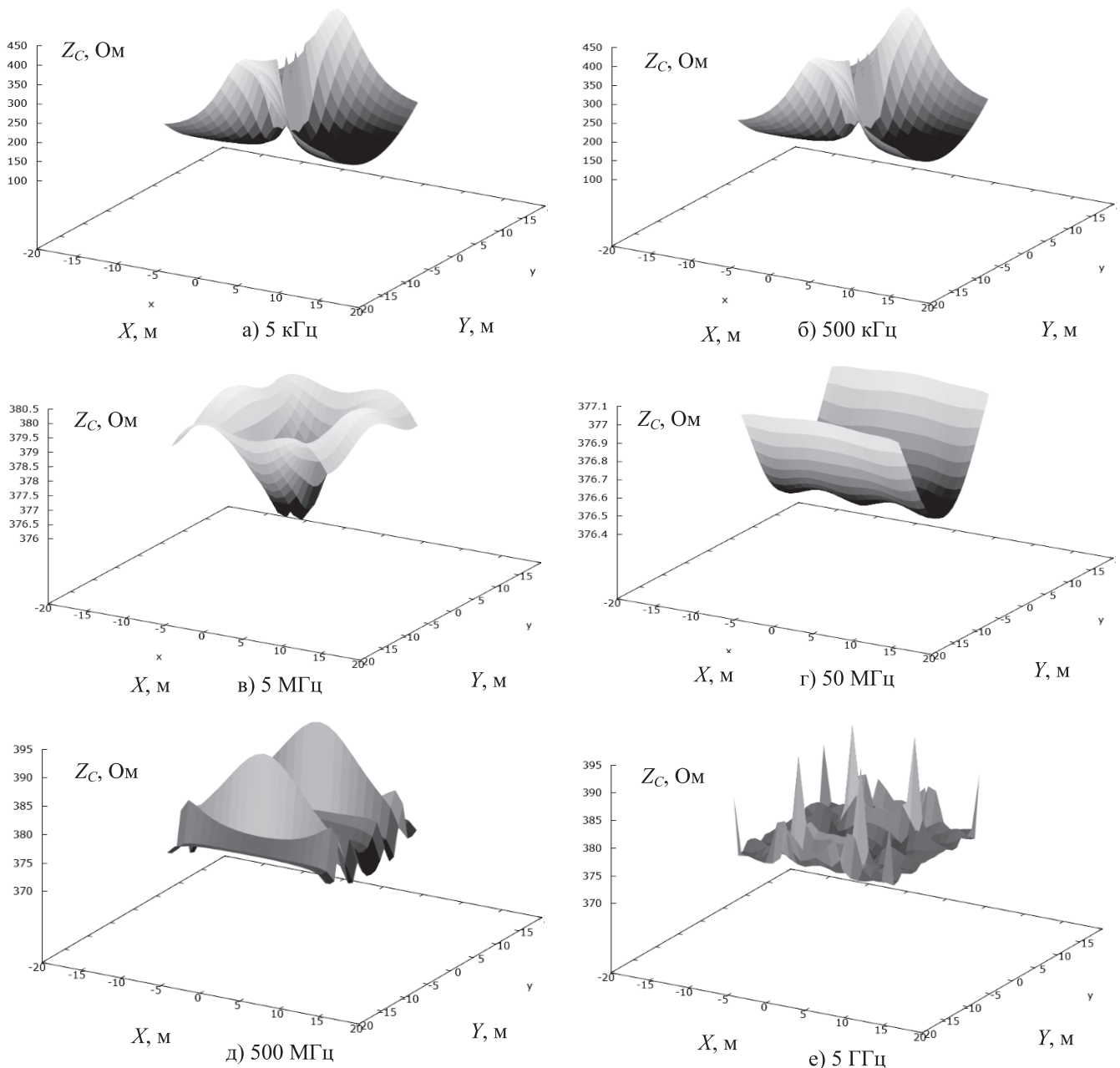


Рис. 5. Распределение отношения Z_C модулей векторов электрической E -составляющей и магнитной H -составляющей ЭМП трехэлементной АСА в заданной пространственной области на частоте: а) 5 кГц; б) 500 кГц; в) 5 МГц; г) 50 МГц; д) 500 МГц; е) 5 ГГц

... 5 МГц пространственные структуры электрической E -составляющей и магнитной H -составляющей ЭМП существенно отличаются друг от друга, но практически не зависят от частоты (поэтому на рис. 3а и рис. 4а приведены графики только для частоты 5 кГц).

«Индикатор» соответствия структуры ЭМП плоской волне $Z_C = |E|/|H|$ при этом показывает, что в пределах пространственной зоны возможного расположения технических средств перехвата КИ [8-9] на данных частотах имеет место существенное отличие Z_C от волнового сопротивления внешней

среды $Z_0 = 377$ Ом. Это объясняется тем, что все точки M_s расположены в данном случае в ближней зоне и в зоне Френеля ЭМП АСА, где электрическая E -составляющая и магнитная H -составляющая достаточно сложным образом связаны друг с другом.

Аналогичная картина наблюдается на высоких частотах 500 МГц и 5 ГГц, но по другой причине: так как ЭМП в зоне Фраунгофера здесь формируется тремя апертурами АСА и его неоднородность обусловлена проявлением интерференционных эффектов. В то же время посередине рабочего диапазона: на частоте 50 МГц (см. рис. 5г) отклонение Z_c от Z_0 не превышает 0,5 Ом, что подтверждает соответствие ЭМП АСА структуре плоской волны и свидетельствует о приемлемом качестве предложенной ММ (1)-(9) и реализующего ее программного продукта.

Угловые координаты векторов ЭМП трехэлементной АСА

Соотношения (3) и (4) можно использовать также для определения пространственного положения векторов \vec{E}_m и \vec{H}_m в сферической системе координат при помощи четырех углов: азимутальных φ_E ; φ_H и меридиональных θ_E ; θ_H , определяемых как

$$\varphi_E = \arctg (E_y / E_x);$$

$$\theta_E = \arccos [E_z / (E_x^2 + E_y^2 + E_z^2)^{1/2}]; \quad (10)$$

$$\varphi_H = \arctg (H_y / H_x);$$

$$\theta_H = \arccos [H_z / (H_x^2 + H_y^2 + H_z^2)^{1/2}], \quad (11)$$

где $\varphi_{E,H} [0; 2\pi]$; $\theta_{E,H} [0; \pi]$. При этом если $E_x > 0$; $E_y > 0$, то для φ_E имеет место (10); если $E_x < 0$; $E_y > 0$, то $\varphi_E = \pi - \arctg |E_y / E_x|$; если $E_x < 0$; $E_y < 0$, то $\varphi_E = \pi + \arctg (E_y / E_x)$ и если $E_x > 0$; $E_y < 0$, то $\varphi_E = 2\pi - \arctg |E_y / E_x|$. Аналогичные соотношения справедливы и для φ_H в (11).

Расчетные графики пространственных распределений углов φ_E и θ_E , в радианах представлены на рис. 6-7, аналогичные данные для углов φ_H и θ_H , в радианах, – на рис. 8-9, в обоих случаях на частотах: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц. Помимо очевидных различий, обусловленных разной ориентацией векторов \vec{E}_m и \vec{H}_m , они фиксируют неодинаковый и достаточно сложный характер их пространственно-частотных зависимостей – который иллюстрирует различие в «поведении» составляющих ЭМП как в непосредственной близости от АСА, так и в зоне Фраунгофера.

Обращает на себя внимание отмеченное соответствие поляризационной структуры ЭМП АСА плоской волне на частоте 50 МГц (см. рис. 6б и рис. 7б, а также рис. 8б и рис. 9б). В целом, полученные данные подтверждают установленную эмпирическим путем целесообразность применять для перехвата КИ как «электрические» (вibratorные), так и «магнитные» (рамочные) антенны, обеспечивающие прием и обработку составляющих ЭМП разной ориентации (поляризации) [10].

Заключение

Данные рис. 3-9 хорошо соответствуют физическим принципам работы АСА, что позволяет признать результаты тестирования разработанной ММ и ее компьютерной реализации удовлетворительными и приступить к анализу статистических характеристик ЭМП методом СИМ. Необходимость расширения диапазона частот до пределов 5 кГц ... 5 ГГц обусловлена интересами проектирования систем защиты КИ коммерческого назначения от утечки через АСА [10].

Продолжение работ в данном направлении связано с исследованием и моделированием неопределенностей, присущих структуре и параметрам ЭМП, создаваемого реальными АСА, с помощью методов и средств теории систем и системного анализа.

Литература

1. Маслов О.Н. Случайные антенны: теория и практика. Самара: Изд-во ПГУТИ-ОФОРТ, 2013. – 480 с. // URL: http://eis.psuti.ru/images/books/sluch_ant
2. Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Статистические характеристики поля решетки апертурных случайных антенн // Радиотехника и электроника. Т.58, №11, 2013. – С. 1093-1101.
3. Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Статистические модели волнового поля апертурной случайной антенны // Радиотехника и электроника. Т.60, №6, 2015. – С. 642-649.
4. Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Статистические характеристики поля апертурной случайной антенны с учетом корреляционной связи между ошибками // Антенны. №12, 2012. – С. 3-10.
5. Красильникова Е.П., Маслов О.Н., Раков А.С. Моделирование статистических характеристик электромагнитного поля апертурной случайной антенны // ИКТ. Т.12, №2, 2014. – С. 78-86.

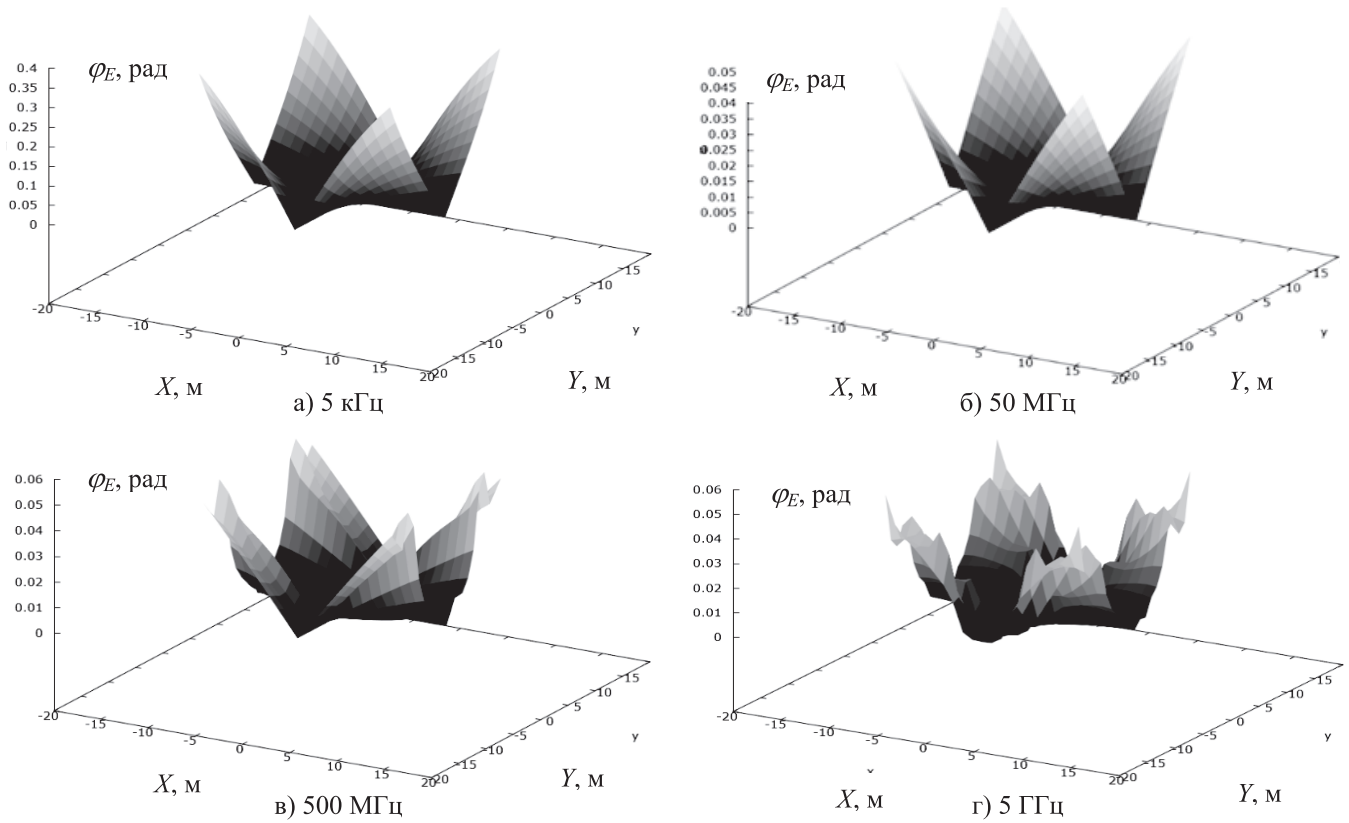


Рис. 6. Распределение азимутального угла φ_E для вектора электрической E -составляющей ЭМП трехэлементной АСА в заданной пространственной области на частоте: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц

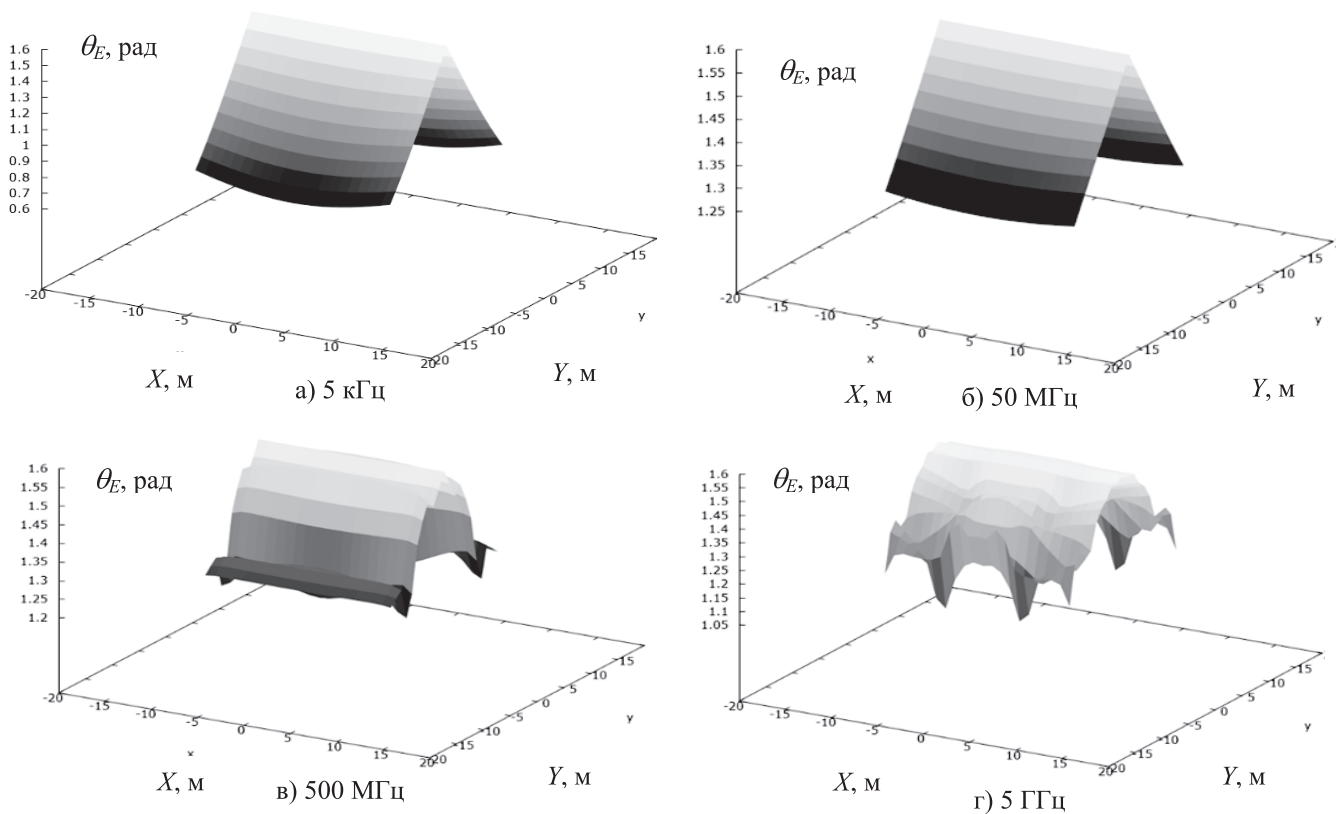


Рис. 7. Распределение меридионального угла θ_E для вектора электрической E -составляющей ЭМП трехэлементной АСА в заданной пространственной области на частоте: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц

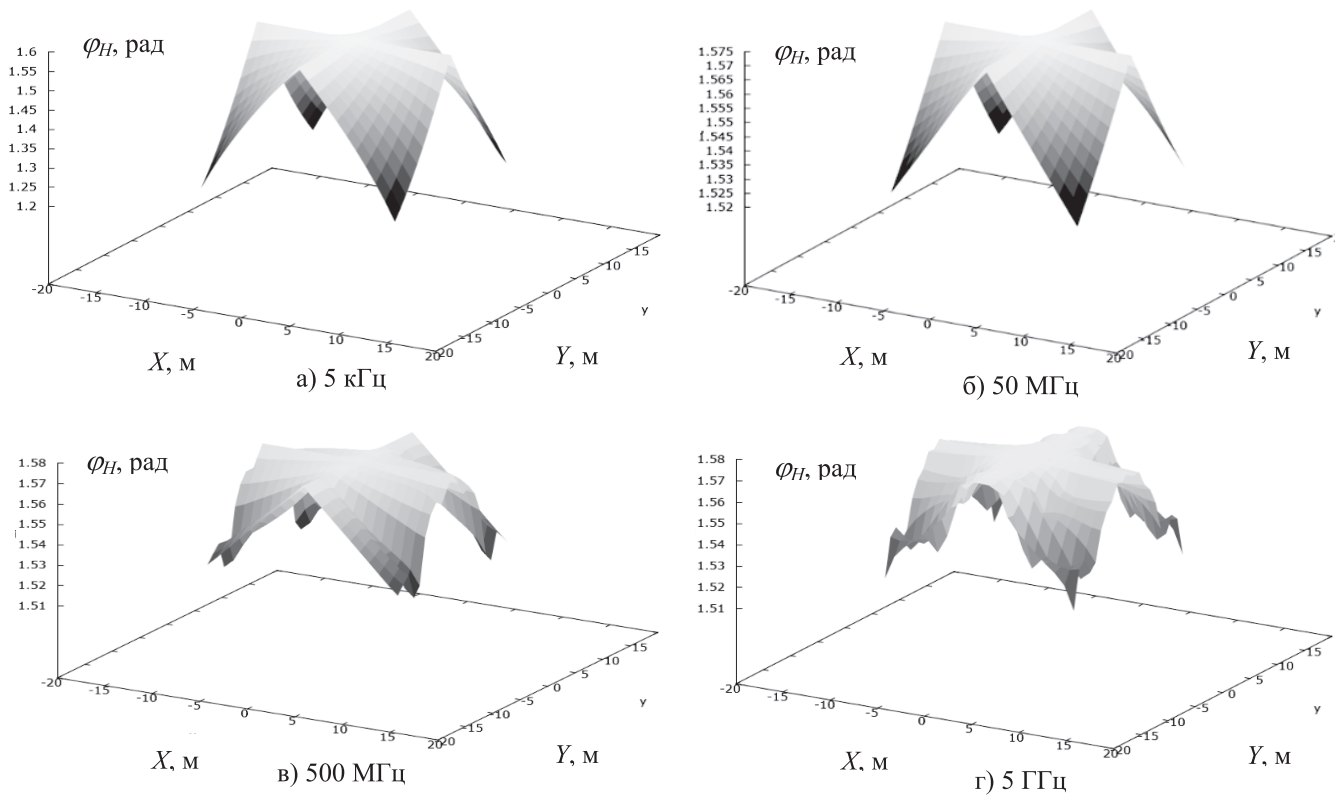


Рис. 8. Распределение азимутального угла φ_H для вектора магнитной H -составляющей ЭМП трехэлементной АСА в заданной пространственной области на частотах: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц

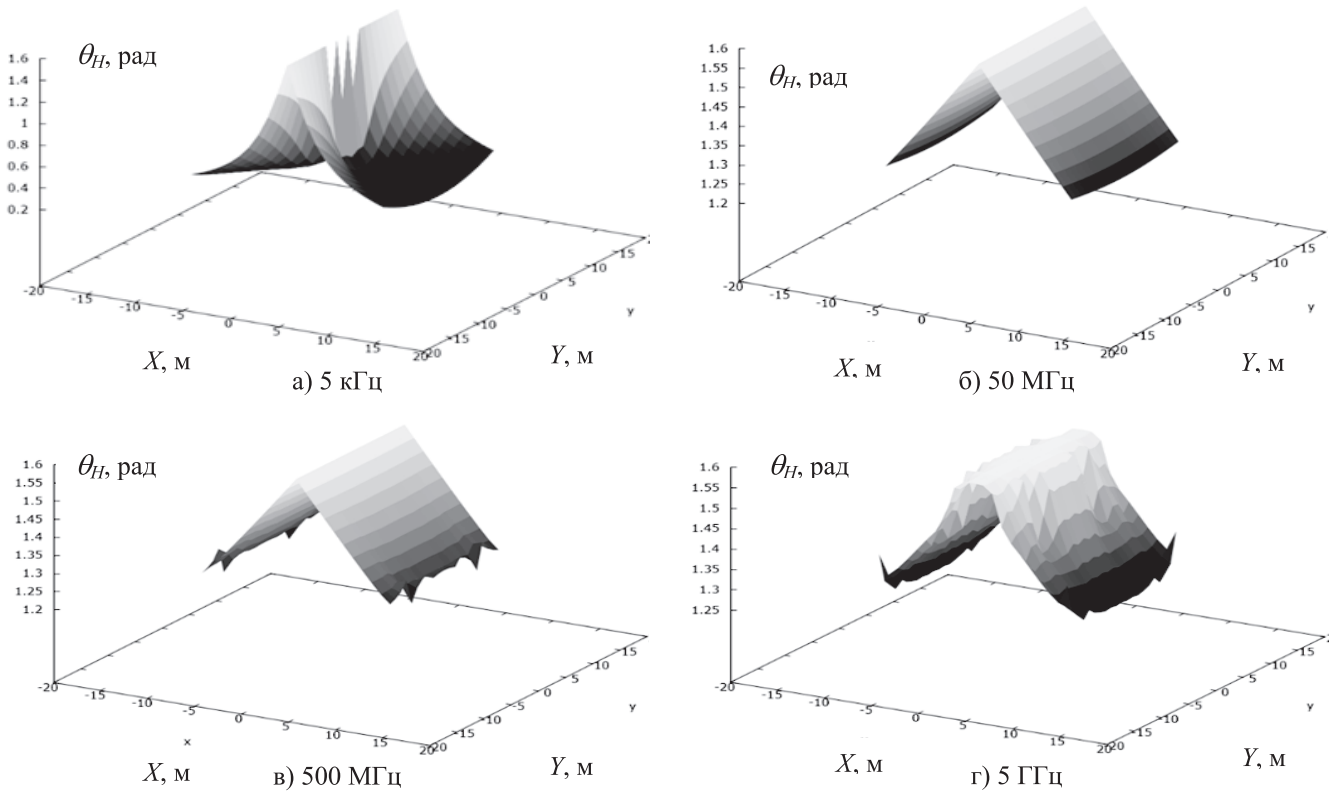


Рис. 9. Распределение меридионального угла θ_H для вектора магнитной H -составляющей ЭМП трехэлементной АСА в заданной пространственной области на частотах: а) 5 кГц; б) 50 МГц; в) 500 МГц; г) 5 ГГц

6. Маслов О.Н., Раков А.С. Комплексное моделирование статистических характеристик поля апертурной случайной антенны // Антенны. №1 (212), 2015. – С. 41-49.
7. Маслов О.Н. Применение метода статистического имитационного моделирования для исследования случайных антенн и проектирования систем активной защиты информации // Успехи современной радиоэлектроники. №6, 2011. – С. 42-55.
8. Маслов О.Н. Низкоэнергетическая информационная защита случайных антенн // Электросвязь. №1, 2014. – С. 32-38.
9. Маслов О.Н. Модуль-ретранслятор для низкоэнергетической информационной защиты слу-
чайных антенн // Электросвязь. №1, 2015. – С. 40-45.
10. Маслов О.Н., Раков А.С. Апертуры утечки информации: анализ, моделирование, защита // Защита информации. Инсайд. №1, 2015. – С. 30-33.
11. Маслов О.Н. Устойчивые распределения и их применение в радиотехнике. М.: Радио и связь, 1994. – 152 с.
12. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. М.: Связь, 1972. – 472 с.

Получено 16.03.2015

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

Раков Александр Сергеевич, к.т.н., докторант Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-927-651-41-96. E-mail: racov-as@psuti.ru

Сидоренко Алина Амиралиевна, студентка ПГУТИ (гр. ЗС-01). Тел. 8-927-717-94-44.

WAVE FIELD SPATIAL-FREQUENCY RESPONSES OF APERTURE RANDOM ANTENNA

Maslov O.N., Rakov A.S., Sidorenko A.A.

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: maslov@psati.ru

This work concerns on research electromagnetic field structure generated by three-element aperture random antenna with rectangular configuration. Results of simulation of electromagnetic field structure of described above antenna performed over frequency range 5 kHz...5 GHz are presented. Here observation point is located on the flat platform 20×20 m² removed from the aperture random antenna on 20 m distance. 3D-surfaces of vector amplitudes for electric E and magnetic H fields and their wave impedance are computed and represented. Also similar 3D-surfaces are obtained and shown for meridional and azimuthal angles that define spatial orientation of vectors E and H over mentioned flat area. Obtained simulation results are initial data for statistical research of electromagnetic field generated by three-element aperture random antenna performed by methods of statistical modeling.

Keywords: aperture random antenna, mathematical and computer simulation, structure of the electromagnetic fields, electric and magnetic components, wave impedance.

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.14.

Maslov Oleg Nikolayevich, Doctor of Technical Science, Professor, the Head of Department of Economic Information Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru

Rakov Aleksandr Sergeevich, PhD in Technical Science, doctoral candidate, Department of Economic Information Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +79276514196. E-mail: racov-as@psuti.ru

Sidorenko Alina Amiraliyevna, student, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +79277179444.

References

1. Maslov O.N. *Sluchaynye anteny: teoriya i praktika* [Random antennas: theory and practice]. Samara, PGUTI-OFORT Publ., 2013. 480 p.
2. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statistical characteristics of the field of an array of random aperture antennas. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2013, vol. 58, no. 11, pp. 1093-1101. doi: 10.1134/S1064226913110107.
3. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statistical models of the wave field of a random aperture antenna. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2015, vol. 60, no. 6, pp. 642-649. doi: 10.1134/S1064226915030146.
4. Maslov O.N., Rakov A.S., Silkin A.A. Statisticheskie harakteristiki polya aperturnoy sluchaynoy anteny s uchetom korrelyacionnoy svyazi mezhdru oshibkami [Statistical characteristics of field of aperture random antenna with allowance for correlation between errors]. *Antenny*, 2012, no. 12, pp. 3-10.
5. Krasilnikova E.P., Maslov O.N., Rakov A.S. Modelirovanie statisticheskikh harakteristik elektromagnitnogo polya aperturnoy sluchaynoy anteny [Modelling of electromagnetic performance of aperture random antenna]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 2, pp. 78-86.
6. Maslov O.N., Rakov A.S. Kompleksnoe modelirovanie statisticheskikh harakteristik polya aperturnoy sluchaynoy anteny [Complex modeling of statistical characteristics of the aperture random antenna field]. *Antenny*, 2015, no. 2, pp. 41-49.
7. Maslov O.N. Primenenie metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya dlya issledovaniya sluchaynykh antenn i proektirovaniya sistem aktivnoy zaschity informacii [Statistic imitation modeling method for random antennas investigation and active information security systems projecting application]. *Uspehi sovremennoy radioelektroniki*, 2011, no. 6, pp. 42-55.
8. Maslov O.N. Nizkoenergeticheskaya informacionnaya zaschita sluchaynykh antenn [Low-energy information protection of random antennas]. *Elektrosvyaz*, 2014, no. 1, pp. 32-38.
9. Maslov O.N. Modul-retranslyator dlya nizkoenergeticheskoy informacionnoy zaschity sluchaynykh antenn [Module-repeater for low-energy information protection of random antennas]. *Elektrosvyaz*, 2015, no. 1, pp. 40-45.
10. Maslov O.N., Rakov A.S. Apertury utechki informacii: analiz, modelirovanie, zaschita [Aperture of information leaks: analysis, modeling, protection]. *Zaschita informacii. Insayd*, 2015, no.1, pp. 30-33.
11. Maslov O.N. *Ustoychivye raspredeleniya i ih primeneniye v radiotekhnike* [Stable distributions and their applications in radio engineering]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1994. 152 p.
12. Kocherzhevskiy G.N. *Antenno-fidernye ustroystva* [Antenna-feeder devices]. Moscow, Svyaz Publ., 1972. 472 p.

Received 16.03.2015

УДК 543.42:005.056

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Аникин И.В.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, РФ

E-mail: anikinigor777@mail.ru

Статья посвящена разработке метода управления рисками информационной безопасности в корпоративных информационных сетях. Метод основан на оценке эффективности реализуемых защитных мер в условиях существующих финансовых ограничений. Для решения задач оптимизации на этапе управления рисками используется генетический алгоритм.

Ключевые слова: информационная безопасность, оценка рисков, нечеткая логика, метод анализа иерархий.

Введение

В настоящее время эффективность функционирования современных предприятий напрямую зависит от степени защищенности корпоративных информационных сетей (КИС), посредством

которых осуществляется автоматизация бизнес-процессов. Роль деструктивных факторов для современных КИС значительно выросла, а их растущая сложность только усугубляет ситуацию. В связи с этим защита информации должна