

## **Анализ электродинамических характеристик вертикального вибратора, расположенного на металлической плоскости с выступом, во всем пространстве наблюдения**

**Н. Н. Горобец, Н. П. Елисеева**

*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,  
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61077, Украина  
Email: Nadezhda.P.Yeliseyeva@univer.kharkov.ua*

*Статья поступила в редакцию 20 октября 2005 г.*

На основе метода равномерной геометрической теории дифракции получено асимптотическое решение трехмерной задачи дифракции излучения полуволнового вертикального вибратора, расположенного на идеально проводящей плоскости с тонким выступом в виде экрана прямоугольной формы. По разработанному алгоритму рассчитаны линии равных амплитуд ортогональных компонент поля и проведен анализ распределения поля во всем пространстве наблюдения. Рассчитаны и проанализированы зависимости коэффициента направленного действия антенны в направлении нормали к экрану, коэффициента затеняющего действия экрана от его размеров и расстояния между ним и вибратором. Обнаружено, что на коэффициент направленного действия антенны в большей мере влияет высота выступа, а на коэффициент затеняющего действия – его ширина.

Вибраторные антенны, широко используемые в технике связи и других областях радиоэлектроники, часто расположены на металлической поверхности вблизи острых выступов, существенно изменяющих распределение электромагнитного поля антенны в пространстве. Вследствие этого важно знать как само распределение результирующего поля, так и зависимость энергетических характеристик антенны от ее положения относительно металлического выступа на металлической плоскости. В [1] в длинноволновом и резонансном диапазонах длин волн экспериментально и теоретически (численно–аналитическим методом) исследовались направленные свойства излучения вертикального вибратора, расположенного на металлической плоскости вблизи тонкого выступа, в  $E$ - и  $H$ -плоскости наблюдения. При расчете диаграмм направленности использовались двумерные электродинамические модели,

в которых ограниченный по высоте  $h$  выступ ( $h < \lambda$ , модель ленты I на рис. 1) возбуждался линейным диполем, расположенным в точке  $O$  и ориентированным вдоль оси  $Z$ , а ограниченный по ширине  $W$  выступ ( $W/2 < \lambda$  модель ленты II на рис. 1) возбуждался нитью электрического тока, расположенной в точке  $O$  и ориентированной вдоль оси  $X$ . Исходя из двумерной геометрии и двумерного вида возбуждающего поля, задача о дифракции на выступе сводилась к задаче дифракции плоских  $H$ - и  $E$ -поляризованной волн на ленте. По измеренным диаграммам направленности (ДН) в  $E$ - и  $H$ -плоскости наблюдения экспериментально определялись коэффициент направленного действия (КНД) для несимметричного вертикального диполя, расположенного на металлической плоскости с выступом, в направлении нормали к нему и коэффициент затеняющего действия (КЗД) выступа в зависимости от поло-

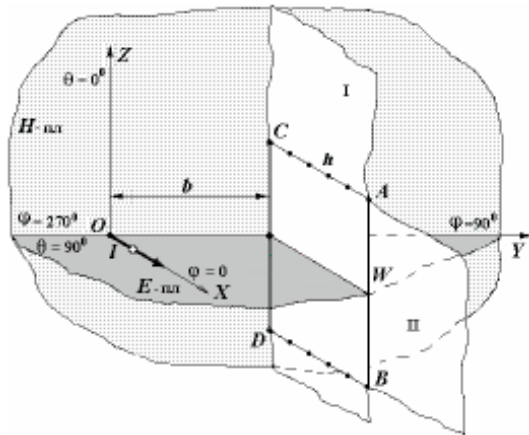


Рис. 1. Геометрия задачи

жения диполя относительно выступа и одного из его размеров.

В [2] показано, что амплитуда дифрагированного поля, возбужденного полем электрического диполя на краю полуплоскости, существенно зависит от ориентации диполя и удаления его от края. В случае диполя, перпендикулярного к краю полуплоскости, возбуждаются несинфазные ортогональные компоненты краевых полей со значительно большей амплитудой, чем в случае, когда диполь параллелен краю. В поле излучения антенны в  $H$ -плоскости (рис. 1) основной вклад дают поля, дифрагированные от кромок выступа  $AC$  и  $BD$ , определяемые размером  $W$ , а в  $E$ -плоскости – поля, дифрагированные от кромки  $AB$ , поэтому на ДН в основном влияет размер экрана  $h$ . При двумерной модели реального выступа в  $H$ -плоскости не учитывается дифрагированное поле от кромки  $AB$ , по отношению к которой диполь ориентирован перпендикулярно, в  $E$ -плоскости не учитываются поля, дифрагированные от кромок  $AC$  и  $BD$ , по отношению к которым диполь ориентирован параллельно. Учитывая, что при возбуждении реальных экранов вибраторной антенной с высотой, сравнимой с длиной волны, в  $H$ -плоскости амплитуда поля, дифрагированного от поперечной кромки, значительно больше, чем в  $E$ -плоскости, расчет ДН с использованием двумерных матема-

тических моделей не может быть выполнен с одинаково высокой точностью в  $H$ - и  $E$ -плоскости. Совпадение численных и экспериментальных ДН в обеих плоскостях наблюдения, по-видимому, можно объяснить использованием в эксперименте [1] в качестве антенны несимметричного диполя малой длины, при удалении которого от поперечных кромок на расстояние  $2\lambda$ , на них возбуждались дифрагированные поля малой амплитуды независимо от ориентации диполя. Поэтому, утверждая, что использование двумерных математических моделей для анализа рассеяния волн вибраторных антенн на реальных экранах эффективно и дает достоверные характеристики вибраторных антенн [1], надо иметь в виду, что это справедливо только при высоте антенн, значительно меньшей длины волны, и соответствующих размерах экрана, больших длины волны.

Цель настоящей статьи – методом РГТД исследовать физические закономерности формирования распределения поля излучения симметричного вертикального полуволнового вибратора, расположенного на металлической плоскости вблизи тонкого выступа конечных размеров, во всем пространстве наблюдения, провести анализ влияния расстояния между вибратором и выступом и размеров выступа на электродинамические характеристики вертикального вибратора, а также сравнить эти характеристики с данными эксперимента в [1].

## 1. Постановка задачи и основные соотношения

Рассмотрим задачу дифракции излучения вертикального электрического вибратора длиной  $2l$ , расположенного на идеально проводящей плоскости на расстоянии  $b$  от тонкого выступа в виде прямоугольного экрана  $ABDC$  с размерами  $h$  и  $W$  (рис. 1), включающую одновременно два случая дифракции плоской волны на ленте: в  $H$ - и  $E$ -плоскости [1]. В рамках представлений РГТД функция Грина задачи представляет суперпозицию полей геометрикооптических (ГО)

волн: падающей от вибратора, однократно и двукратно отраженных от плоскости и экрана  $ABDC$ , краевых волн, возбужденных ГО полями на боковой  $AB$  и поперечных кромках экрана  $AC$  и  $BD$ , а также отраженных от плоскости краевых волн, с учетом их областей света и тени.

Введем прямоугольную систему координат  $XYZ$  (рис. 1) так, что середина вибратора имеет координаты  $(l, 0, 0)$ , источники отраженных от плоскости и экрана волн определяются точками  $(-l, 0, 0)$  и  $(l, 2b, 0)$  соответственно, источники двукратно отраженных волн находятся в точке  $(-l, 2b, 0)$ . Введем также общую сферическую систему координат  $R, \theta, \varphi$  с центром в точке  $O$  (рис. 1). Для определения поля первичной дифракции используем модель в виде системы виртуальных дифракционных излучателей (ВДИ) на боковой кромке  $AB$  (в точке с координатами  $x_{AB} = h, y_{AB} = b, z_{AB} = 0$ ) и на ее зеркальном изображении  $A'B'$  относительно плоскости (в точке  $x_{A'B'} = -h, y_{A'B'} = b, z_{A'B'} = 0$ ). При симметричном расположении вибратора относительно кромок  $AC$  и  $BD$ , ВДИ на поперечной кромке  $AC$  находится в точке  $x_{AC} = l, y_{AC} = b, z_{AC} = W/2$ . С каждым из ВДИ связываем прямоугольную систему координат так, что ось  $X$  направлена по поверхности экрана или его зеркального отображения, а ось  $Z$  – вдоль кромки. Формулы для компонент векторов напряженности ГО поля электрического вибратора разной ориентации и полей ВДИ, полученные из строгого решения задачи дифракции излучения произвольно ориентированного диполя на краю идеально проводящей полуплоскости [3], приведены в [4]. Уравнения для определения областей света и тени всех источников получены исходя из геометрии задачи и принципов, изложенных в работах [4, 5]. Для исследования влияния выступа конечных размеров на направленные и энергетические свойства полуволнового электрического вибратора разработаны алгоритмы и программы расчета ДН ортогональных компонент  $f_\theta, f_\varphi$  вектора напряженности электрического поля во всем пространстве наблюдения. Рассчитывались также ДН, нормированные

на значение амплитуды поля в направлении максимального излучения  $\theta_{\max}, \varphi_{\max}$ ,

$$E_{\theta,\varphi}(\theta, \varphi) = 20 \lg \frac{|f_{\theta,\varphi}(\theta, \varphi)|}{|f_{\theta,\varphi}(\theta_{\max}, \varphi_{\max})|}, \quad (1)$$

КНД  $D(\theta, \varphi)$  в направлении углов наблюдения  $\theta, \varphi$  и сопротивление излучения  $R_\Sigma$  полуволнового вибратора:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi f^2(\theta, \varphi)}{I_\Sigma}, \quad R_\Sigma = \frac{30}{\pi} I_\Sigma, \quad (2)$$

где  $I_\Sigma = I_{\Sigma 1} + I_{\Sigma 2}$ ;  $I_{\Sigma 1} = \int_0^{\pi/2} d\varphi \int_0^\pi f^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta$ ,  $I_{\Sigma 2} = \int_{3\pi/2}^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi f^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta$  – интегралы полной мощности излучения, мощности излучения в полупространствах за выступом и перед ним соответственно;  $f^2(\theta, \varphi) = |f_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |f_\varphi(\theta, \varphi)|^2$ .

Рассчитывались коэффициент защитного действия  $V$  [6] как отношение мощностей излучения в единицу телесного угла в направлениях нормалей к выступу,

$$V = 10 \lg \frac{f^2(90^\circ, 90^\circ)}{f^2(90^\circ, 270^\circ)}, \quad (3)$$

и КЗД выступа как отношение мощностей излучения в полупространствах за выступом  $I_{\Sigma 1}$  и перед ним  $I_{\Sigma 2}$ ,

$$\text{КЗД} = 10 \lg (I_{\Sigma 1} / I_{\Sigma 2}). \quad (4)$$

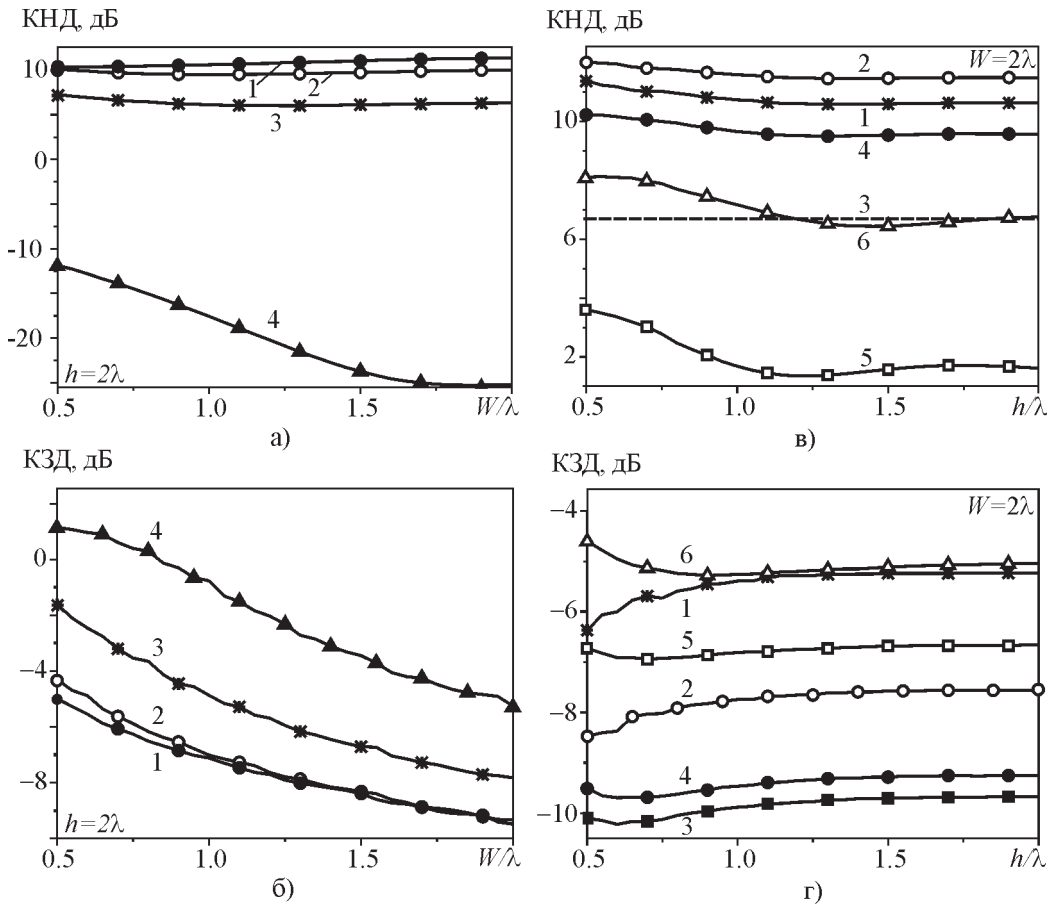
Энергетические характеристики излучения рассчитывались при изменении размеров выступа в пределах  $(0.5 \div 2.5)\lambda$  и удалении вибратора от него на расстояние  $b = (0.1 \div 3)\lambda$ .

Размеры выступа в эксперименте в [1] изменялись в пределах  $h = (0 \div 0.6)\lambda$  при  $W = 2\lambda$  для  $E$ -плоскости и  $W/2 = (0 \div 0.6)\lambda$  при  $h = 2\lambda$  для  $H$ -плоскости при фиксированных  $b$  в интервале от  $0.1\lambda$  до  $0.9\lambda$ .

## 2. Анализ результатов расчета

На рис. 2, а, б приведены рассчитанные нами по формулам (2) и (4) КНД антенны в направлении нормали к выступу ( $\text{КНД} = 10 \lg(D(90^\circ, 270^\circ))$ ) и КЗД выступа в зависимости от его ширины  $W$  при  $h = 2\lambda$  и фиксированных расстояниях  $b$  между антенной и экраном. Сравнивая кривые на рис. 2 а, б для симметричного полувол-

нового вертикального вибратора с экспериментальными кривыми для несимметричного вертикального диполя в  $H$ -плоскости (рис. 2, а, б в [1]), отметим, что, как и в эксперименте, при  $b < 0.4\lambda$  с увеличением расстояния между антенной и выступом КНД уменьшается (рис. 2, а). Значение КЗД для  $b = (0.2 \div 0.5)\lambda$  также уменьшается: соответственно от  $-8$  до  $-2$  дБ при  $W = 1.2\lambda$  (рис. 2, б), что объясняется изменением распределения поля в пространстве и направленными свойствами ГО источников и ВДИ. Экранирующее действие выступа, как и в эксперименте, растет с увеличением его ширины. Однако заметны отличия в величинах: при  $W = 1.2\lambda$  для  $b = 0.2\lambda, 0.3\lambda$  и  $0.4\lambda$



**Рис. 2.** Зависимости КНД антенны и КЗД выступа от ширины (а, б) и высоты (в, г) выступа: а), б) – кривые 1–4 соответствуют значениям  $b/\lambda = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ ; в), г) – кривые 1–6 соответствуют значениям  $b/\lambda = 0.05, 0.1, 0.25, 0.32, 0.45, 0.9$ , пунктирная линия 3 на рис. в) соответствует случаю вибратора на плоскости без выступа

рассчитанный нами КНД равен соответственно 11, 9.5 и 6 дБ (рис. 2, а) и составляет около 6, 5 и 2 дБ в [1]. Расхождения численных значений связаны с различием используемых источников возбуждения: полуволновый вибратор и несимметричный диполь. Из рис. 2, а видно, что, как и в эксперименте, при  $b < 0.4\lambda$ ,  $h = 2\lambda$ , и  $W > \lambda/2$  КНД практически не зависит от ширины выступа. При  $b = 0.5\lambda$  с увеличением  $W$  от  $0.5\lambda$  до  $2\lambda$  КНД уменьшается от  $-12$  до  $-25$  дБ, что обусловлено равенством нулю ГО поля и уменьшением амплитуды дифрагированного поля на краях  $AC$  и  $BD$  в направлении нормали к выступу с увеличением его ширины  $W$  [2].

На рис. 2, в, г представлены КНД в направлении нормали к выступу и КЗД в зависимости от высоты  $h$  при  $W = 2\lambda$  для тех же расстояний между антенной и экраном  $b$ , что и в эксперименте [1] для  $E$ -плоскости. Здесь же показана величина КНД полуволнового вертикального вибратора, расположенного на металлической плоскости без выступа, равная 6.7 дБ (кривая 3, рис. 2, в). Из рис. 2, в видно, что при удалении вибратора на расстояние  $b = 0.45\lambda$  с увеличением высоты выступа так же, как и при увеличении его ширины, КНД уменьшается (кривая 5), но остается выше, чем на рис. 2, а (кривая 4). В частности, для  $W = 2\lambda$  и  $h = 0.6\lambda$  при  $b = 0.45\lambda$  КНД равен 3.3 дБ, а для  $h = 2\lambda$  и  $W/2 = 0.6\lambda$  при  $b = 0.5\lambda$  КНД равен  $-20$  дБ. С учетом равенства нулю амплитуды ГО поля для  $b$ , кратных  $0.5\lambda$ , это объясняется большей амплитудой поля, дифрагированного на кромке  $AB$ , чем поля, дифрагированного на кромке  $AC$ , в направлении нормали к выступу при одинаковом удалении кромок от вибратора. При других  $b$ , начиная с  $h = 0.75\lambda$ , зависимости КНД от высоты выступа, так же как и от ширины, практически не наблюдается, как и в [1]. При  $W = 2\lambda$  и  $h = 0.6\lambda$  для  $b = 0.1\lambda$ ,  $0.32\lambda$  и  $0.9\lambda$  значения КНД (рис. 2, в) составляют 12, 10 и 8 дБ соответственно, КНД в [1] (рис. 3, а) равен  $(7.5 \pm 0.5)$  дБ. Значения КЗД при этих же размерах выступа для  $b = 0.32\lambda$ ,  $0.45\lambda$  и  $0.9\lambda$  равны соответственно  $-10$ ,  $-7$  и  $-5$  дБ (рис. 2, г) и  $-15$ ,  $-8$  и  $-7$  дБ в [1] (рис. 3, б).

Различия в значениях КЗД объясняются не только разными размерами излучателей, но и отличием расчетных формул для КЗД.

Сравнение полученных нами электродинамических характеристик вертикального полуволнового вибратора методом РГТД, исходя из расчета поля излучения во всем пространстве, с аналогичными характеристиками, полученными экспериментально для несимметричного вертикального диполя по ДН в двух плоскостях [1], позволяет отметить совпадение в качественных зависимостях КНД и КЗД от размеров выступа и положения антенны. Расхождение численных результатов связано с различием размеров используемых в расчете и в эксперименте антенн и расчетных формул.

Для более полного анализа влияния каждого из размеров выступа на энергетические характеристики излучения полуволнового вибратора нами рассчитаны по формулам (2)–(4) и представлены на рис. 3 линии равных значений сопротивления излучения  $R_{\Sigma}$ , КНД антенны, коэффициента защитного действия  $V$  и КЗД выступа при изменении ширины  $W$  и высоты  $h$  в пределах  $(0.5 \div 2.5)\lambda$  для фиксированного расстояния между антенной и экраном  $b = 0.2\lambda$ . Отметим, что для полуволнового вибратора с фазовым центром, удаленным на четверть длины волны от металлической плоскости без выступа,  $R_{\Sigma} = 103$  Ом. Из анализа результатов расчета  $R_{\Sigma}$  (рис. 3, а) следует, что высота выступа влияет на  $R_{\Sigma}$  в значительной степени при  $h < 0.75\lambda$ , причем с увеличением высоты выступа значение  $R_{\Sigma}$  увеличивается. Начиная с  $h > (0.75 \div 1)\lambda$  высота выступа практически не влияет на сопротивление излучения. Значение  $R_{\Sigma}$  антенны уменьшается с увеличением ширины выступа  $W$  при всех  $h$ . КНД (рис. 3, б) при  $b = 0.2\lambda$  увеличивается при уменьшении высоты  $h$  и увеличении ширины  $W$  выступа. При  $h > 0.75\lambda$  размеры выступа практически не влияют на величину КНД.

Из рис. 3, в видно, что существуют оптимальные отношения ширины к высоте выступа, когда защитное действие выступа максимально, т. е. значение  $V$  минимально.

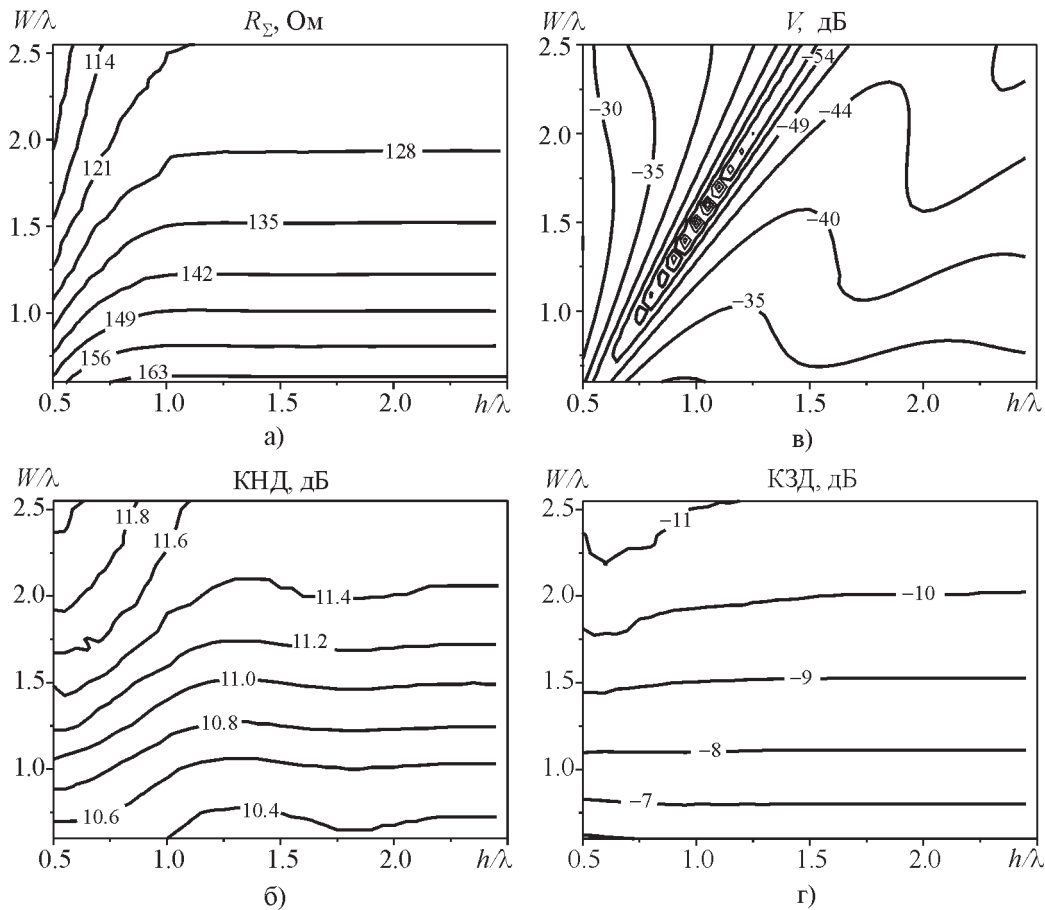


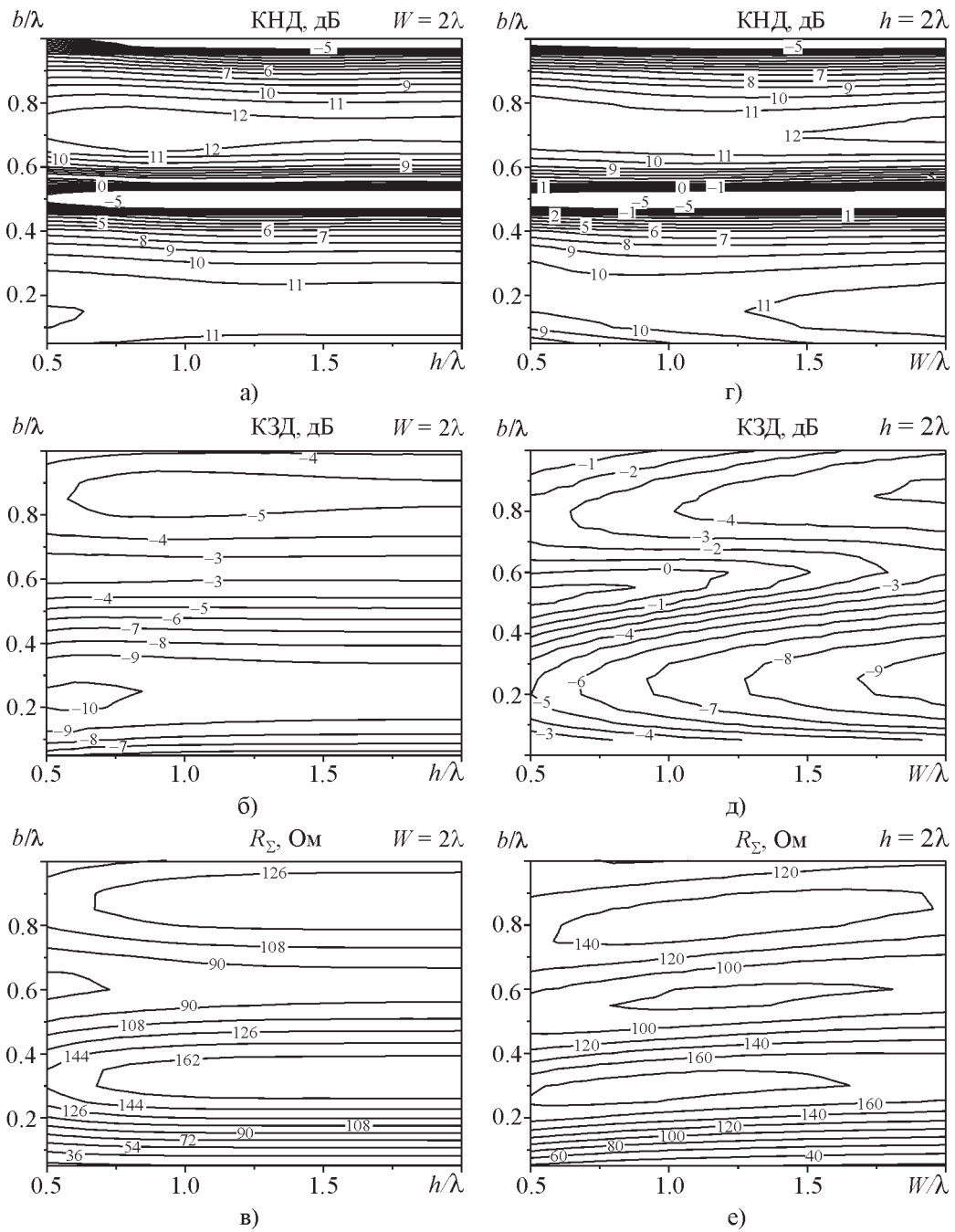
Рис. 3. Линии равных значений  $R_{\Sigma}$ ,  $V$ , КНД, КЗД в системе координат  $W/\lambda$ ,  $h/\lambda$  при  $b = 0.2\lambda$

Это находится в согласии с ранее обнаруженными в [6] эффектами влияния формы экрана на защитное действия антенны. КЗД выступа (рис. 3, г) растет с увеличением ширины выступа при всех  $h$ .

Проведем также анализ влияния на КНД, КЗД и  $R_{\Sigma}$  расстояния  $b$  между антенной и выступом при изменении одного из его размеров. На рис. 4, а-в представлены рассчитанные линии равных значений КНД, КЗД и  $R_{\Sigma}$  в системе координат  $b/\lambda$ ,  $h/\lambda$  для  $W = 2\lambda$ , а на рис. 4, г-е – эти же характеристики в системе координат  $b/\lambda$ ,  $W/\lambda$  для  $h = 2\lambda$ . Видно (рис. 4, а), что максимальный КНД = 12 дБ достигается при  $b = 0.15\lambda$  и  $h = (0.5 \div 0.6)\lambda$ , следующий максимум КНД = 13 дБ – при  $b = (0.7 \div 0.75)\lambda$ ,  $h = 0.8\lambda$ . Минимум КНД имеет место при  $b = (0.5 \pm 0.05)\lambda$ . При постоянной высоте вы-

ступа максимум КНД наблюдается при больших значениях ширины  $W$  (рис. 4, г).

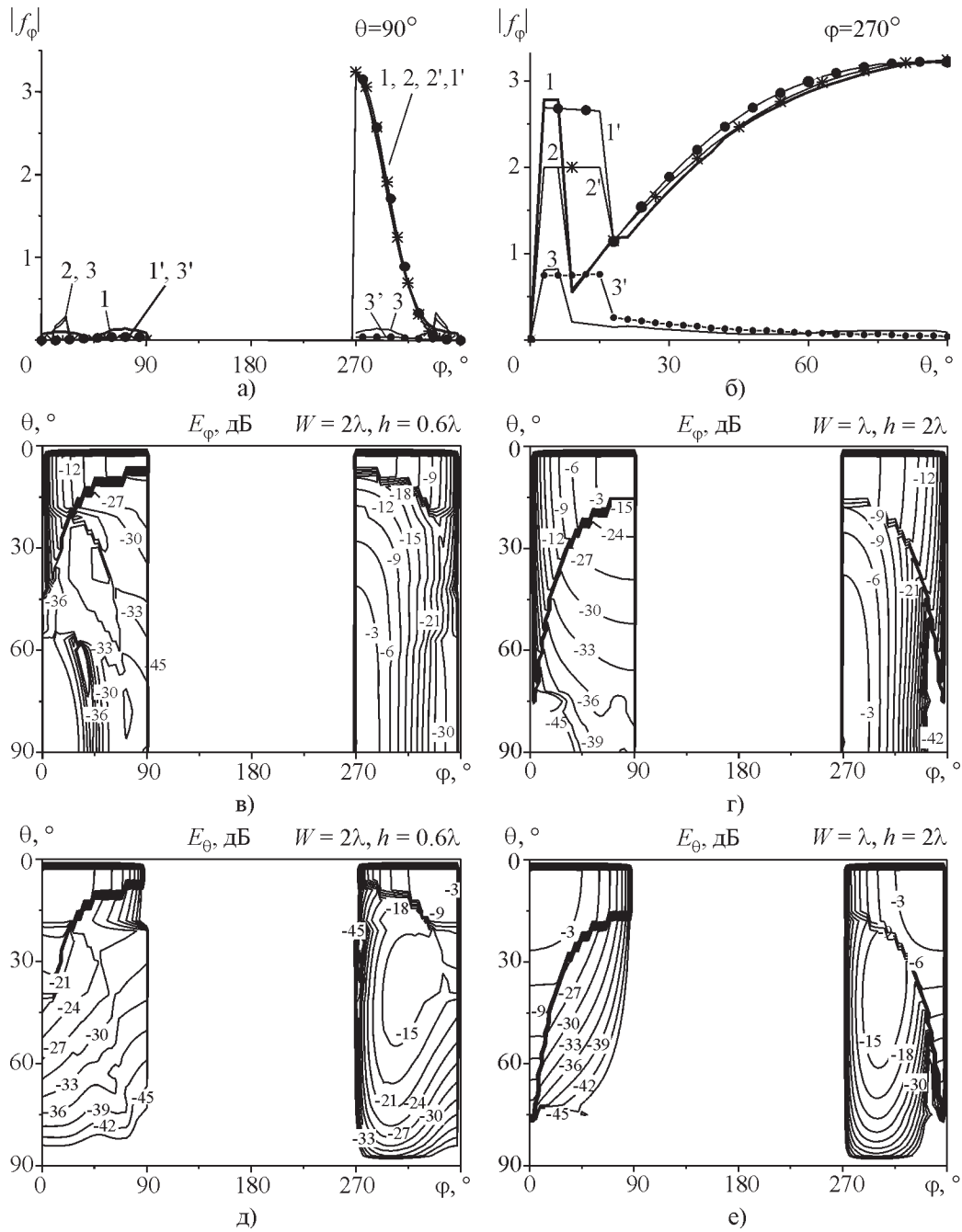
Переходя к анализу КЗД отметим, что его максимальное значение при  $W = 2\lambda$  составляет –10 дБ при  $h = (0.5 \div 0.7)\lambda$  и  $b = 0.2\lambda$ . Для остальных  $b$  зависимости от  $h$  не наблюдается (рис. 4, б). При постоянном  $h$  значение КЗД с увеличением  $W$  растет (рис. 4, д). Минимальное значение КЗД, как и КНД, наблюдается независимо от размеров экрана при  $b = (0.5 \div 0.6)\lambda$ . Далее при увеличении  $b$  и  $W$  значение КЗД не превышает –5 дБ. Величина  $R_{\Sigma}$  при  $W = 2\lambda$  (рис. 4, в) имеет осциллирующую зависимость от  $b$  в пределах от 13 до 176 Ом с максимумом при  $b = (0.3 \div 0.35)\lambda$  и  $h = (1.7 \div 2)\lambda$ . При  $h = 2\lambda$  (рис. 4, е)  $R_{\Sigma}$  имеет максимум 190 Ом при  $b = 0.3\lambda$  и  $W = 0.95\lambda$ . В случае выступа с бесконечными размерами  $R_{\Sigma}$  достигает 140 Ом при  $b = 0.3\lambda$ .



**Рис. 4.** Линии равных значений КНД, КЗД и  $R_{\Sigma}$  в системе координат  $b/\lambda$ ,  $h/\lambda$  при  $W = 2\lambda$  (а, б, в) и  $b/\lambda$ ,  $W/\lambda$  при  $h = 2\lambda$  (г, д, е)

Для исследования физических закономерностей формирования распределения поля излучения вертикального вибратора, расположенного на плоскости с тонким выступом, во всем пространстве наблюдения проведем сравнительный анализ амплитуд основной

компоненты поля  $|f_{\varphi}|$  в главных плоскостях наблюдения  $\varphi = 270^\circ$  и  $\theta = 90^\circ$  (рис. 5, а, б) и распределения  $E_{\varphi}$  и  $E_{\theta}$  – нормированных амплитуд ортогональных компонент поля вибратора (1) при размерах выступа  $W = 2\lambda$ ,  $h = 0.6\lambda$  и  $W = \lambda$ ,  $h = 2\lambda$  (рис. 5, в-е).



**Рис. 5.** Ненормированные амплитуды компоненты поля  $|f_\varphi|$  в плоскостях наблюдения  $\theta = 90^\circ$  (а) и  $\varphi = 270^\circ$  (б) (кривые 1, 1' – амплитуды полного поля; кривые 2, 2' – амплитуды ГО поля; кривые 3, 3' – амплитуды дифрагированного поля; кривые 1, 2, 3 соответствуют размерам выступа  $W = 2\lambda$ ,  $h = 0.6\lambda$ , кривые 1', 2', 3' –  $W = \lambda$ ,  $h = 2\lambda$ ); линии равных значений – нормированных амплитуд ортогональных компонент поля диполя  $E_\varphi$  и  $E_\theta$  при  $b = 0.15\lambda$  и тех же размерах выступа (в-е)

На рис. 5, а, б представлены зависимости ненормированных амплитуд  $|f_\varphi|$  полного поля, ГО поля и дифрагированного поля. Как видно из рис. 5, в-е, в плоскости

$\theta = 90^\circ$  имеется только основная  $\varphi$ -компонента, а в плоскостях  $\varphi = 90^\circ$  и  $\varphi = 270^\circ$  – обе ортогональные компоненты. Сравнивая амплитуды полного поля в плоскости  $\theta = 90^\circ$



при разных размерах выступа (рис. 5, а, кривые 1 и 1'), заметим, что перед выступом ( $\varphi = 270 \div 360^\circ$ ) они определяются суммой падающего, отраженного и дифрагированного полей, а за выступом ( $\varphi = 0 \div 90^\circ$ ) в интервале углов  $\Delta\varphi$  ( $\Delta\varphi$  – область света падающего поля,  $\Delta\varphi = 3 \div 21^\circ$  при  $W = 2\lambda$ ,  $h = 0.6\lambda$  и  $\Delta\varphi = 3 \div 12^\circ$  при  $W = \lambda$ ,  $h = 2\lambda$ ) – суммой падающего (кривые 2 и 2') и дифрагированного полей, вне этого интервала – только дифрагированным полем (кривые 3 и 3'), амплитуда которого зависит от размеров выступа и положения вибратора. Так, при  $W = 2\lambda$ ,  $h = 0.6\lambda$  в направлениях  $\varphi = 0^\circ$  и  $\varphi = 270^\circ$  амплитуда дифрагированного поля составляет  $0.07E_0$  и  $0.09E_0$  (кривая 3) ( $E_0$  – максимальная амплитуда элементарного вибратора в свободном пространстве), а при  $W = \lambda$ ,  $h = 2\lambda$  – соответственно  $0.002E_0$  и  $0.04E_0$  (кривая 3'), т. е. с увеличением  $h$  амплитуда дифрагированных волн уменьшается. Из рис. 5, б видно, что в плоскости  $\varphi = 270^\circ$  ширина выступа  $W$  задает область углов  $\Delta\theta$ , где ГО поле определяется только падающим полем (кривые 2, 2'), причем с увеличением  $W$  она уменьшается: при  $W = 2\lambda$  область  $\Delta\theta = 6^\circ$ , при  $W = \lambda$  –  $\Delta\theta = 15^\circ$ . При остальных углах  $\theta$  ГО поле образуется в результате интерференции падающей и отраженных волн. Амплитуду дифрагированного поля в случае  $W = \lambda$ ,  $h = 2\lambda$  (кривая 3') при  $\Delta\theta = 0 \div 74^\circ$  определяет ВДИ на поперечных кромках, при  $\Delta\theta = 74 \div 90^\circ$  – ВДИ на кромке  $AB$ ; в случае  $W = 2\lambda$ ,  $h = 0.6\lambda$  (кривая 3) амплитуду дифрагированного поля при  $\Delta\theta = 0 \div 19^\circ$  определяет ВДИ на поперечных кромках, при  $\Delta\theta = 19 \div 90^\circ$  – ВДИ на кромке  $AB$ .

На рис. 5, в-е хорошо видны границы свет-тень падающего (при  $\varphi = 0 \div 90^\circ$ ) и отраженного (при  $\varphi = 270 \div 360^\circ$ ) ГО полей, определяемые уравнениями дуг  $\theta(\varphi)$ , в которые входят ширина и высота выступа, и удаление вибратора от него [4]. При меньшей ширине выступа  $W$  (рис. 5, г, е) больше область углов наблюдения, при которых полное поле состоит только из падающего и дифрагированного. В пространстве углов наблюдения  $\varphi = 270 \div 360^\circ$  до границы отраженного поля излучение определяется суммой

интерференционного ГО поля и дифрагированного поля, при  $\varphi = 0 \div 90^\circ$  – за границей падающего поля – имеем только дифракционное поле. Как следует из проведенного анализа рис. 5, б и видно из рис. 5, в-е, с увеличением  $W$  и уменьшением  $h$  область света поля, дифрагированного на поперечных кромках, уменьшается ( $\Delta\theta = 0 \div 19^\circ$  на рис. 5, в, д и  $\Delta\theta = 0 \div 74^\circ$  на рис. 5, г, е), а область света поля, дифрагированного на боковой кромке, увеличивается. Имеется область углов, где дифрагированные поля интерферируют.

Размеры выступа и удаление антенны от него влияют существенным образом и на распределение амплитуды поля в пространстве наблюдения. Степень влияния определяется амплитудой дифрагированного поля, которая зависит от того, насколько угол близок к границе свет-тень ГО поля и от граничных условий при дифракции на кромках. Отметим, что максимальные значения  $\varphi$ -й компоненты поля на рис. 5 в, г совпадают и равны  $3.22E_0$  при  $\varphi_{\max} = 270^\circ$ . Для ортогональных компонент поля (рис. 5 д, е)  $f_{\theta_{\max}} = 2.8E_0$ . В случае  $W = 2\lambda$ ,  $h = 0.6\lambda$  имеем  $R_\Sigma = 77$  Ом, при  $W = \lambda$ ,  $h = 2\lambda$  –  $R_\Sigma = 107$  Ом. Соответственно в первом случае максимальный КНД( $\theta_{\max}, \varphi_{\max}$ ) составляет 12.1 дБ, во втором – 10.6 дБ.

## Заключение

Таким образом, на основе метода РГТД разработан алгоритм расчета ДН во всем пространстве наблюдения для излучающей системы в виде вертикального вибратора, расположенного на идеально проводящей плоскости с выступом в виде экрана прямоугольной формы. Из проведенного анализа рассчитанных зависимостей КНД полуволнового вибратора, коэффициента защитного действия и КЗД выступа следует, что характеристики излучения существенным образом зависят от размеров выступа и удаления вибратора от него. В рамках РГТД это объясняется тем, что размеры выступа определяют области света и тени ГО и дифрагированного полей и соответственно распределение амплитуд поля в пространстве наблюдения.

Различная степень влияния каждого из размеров выступа в разных направлениях наблюдения объясняется зависимостью амплитуды дифрагированных волн от ориентации диполя к каждой из кромок, от расстояния между ними, а также от того, насколько угол наблюдения близок к границам свет-тень ГО поля. Обнаружено, что на КНД и сопротивление излучения вибратора в большей мере влияет высота выступа (при  $h < 0.75\lambda$ ), а на КЗД – ширина выступа  $W$ . При  $h > 0.75\lambda$  размеры выступа практически не влияют на значение КНД. Максимальный КНД достигается при малых  $h$  и больших  $W$ , максимальный КЗД – при больших  $W$ . Оба коэффициента при расстоянии  $b = (0.05 \div 1)\lambda$  между антенной и выступом с размерами в пределах  $(0.5 \div 2)\lambda$  изменяются по осциллирующим закономерностям: КНД – от 0 до 12 дБ и КЗД – от 0 до –10 дБ.

### Литература

1. Астионенко Н. М., Белов А. С. и др. Электродинамические характеристики вертикального вибратора, расположенного вблизи тонкого металлического выступа // Радиотехника и электроника. – 1994. – Т. 39. – С. 1557-1562.
2. Горобец Н. Н., Елисеєва Н. П. Излучение диполя с различной ориентацией относительно края полуплоскости // Радиофизика и радиоастрономия. – 2002. – Т. 7, №3. – С. 305-314.
3. Вандакуров Ю. В. Дифракция электромагнитных волн, испускаемых произвольно ориентированным электрическим или магнитным диполем, на идеально проводящей полуплоскости // ЖЭТФ. – 1954. – Т. 26, №1. – С. 3-18.
4. Елисеєва Н. П. Анализ диаграмм направленности произвольно ориентированного электрического вибратора над плоским экраном // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т. 3, №2. – С. 217-225.
5. Горобец Н. Н., Елисеєва Н. П. Характеристики излучения электрического диполя с различной ориентацией при изменении положения плоского экрана // Радиофизика и электроника. – 2002. – Т. 7, №3. – С. 446-456.
6. Горобец Н. Н., Елисеєва Н. П. Коэффициент защитного действия электрического диполя с плоским и уголковым рефлектором // Антенны. – 1999. – Вып. 2 (43). – С. 57-61.

### Аналіз електродинамічних характеристик вертикального вибратора, розташованого на металевій площині з виступом, в усьому просторі спостереження

М. М. Горобець, Н. П. Єлисеєва

За методом рівномірної геометричної теорії дифракції отримано асимптотичне розв'язання тривимірної задачі дифракції випромінювання напівхвильового вертикального диполя, розташованого на ідеально провідній площині з тонким виступом у вигляді екрана прямокутної форми. За розробленим алгоритмом розраховано лінії рівних амплітуд ортогональних компонентів поля та проаналізовано розподіл поля в усьому просторі спостереження. Розраховано та проаналізовано залежності коефіцієнта спрямованості антени у напрямку нормалі до екрану, коефіцієнта затінення екрану від його розмірів і відстані між ним та диполем. Виявлено, що на коефіцієнт спрямованості антени більшою мірою впливає висота виступу, а на коефіцієнт затінення – його ширина.

### Analysis of Electrodynamic Characteristics of a Vertical Dipole Placed on the Metal Plane with Salient Screen for the Whole Space Observed

N. N. Gorobets and N. P. Yeliseyeva

Using the uniform geometric diffraction theory method, the 3-D diffraction of the vertical halfwave dipole placed on a perfectly conducting plane with a thin rectangular salient screen has been solved asymptotically. Through the authors' algorithm, the isoamplitude lines of the field orthogonal components were calculated, as well as the field pattern was analyzed for the whole space observed. The antenna gain towards the normal to salient screen and the screen shadow factor were calculated and analyzed vs. screen sizes and its distance to the dipole. It is found that the dipole gain depends more on the screen height, while the shadow factor does more on its width.