

# КПД ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕШЕТОК ДИПОЛЬНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НАД ДИССИПАТИВНЫМ ПОЛУПРОСТРАНСТВОМ

Панченко Ю. А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина  
тел.: (057) 702-14-30, e-mail: panchenko84@yandex.ru

**Аннотация** — КПД антенных устройств является важным фактором, который определяет эффективных реальных конструкций. Подстилающая поверхность существенно влияет на параметры решеток приземных антенн. В докладе рассматриваются физические механизмы, обуславливающие потери мощности излучаемого поля. Результаты численных экспериментов позволили провести сравнение физических механизмов поглощения поля ФАР, работающих вблизи поглощающей поверхности.

## I. Введение

Расположение ФАР вблизи границы раздела двух сред, в частности у поверхности земли, вносит существенные коррективы в их параметры. Несмотря на значительное число работ, посвященных исследованиям в этом направлении, ряд вопросов в настоящее время исследованы недостаточно. Поэтому необходим дальнейший анализ и сравнение КПД сканирующих вертикальных антенных решеток, расположенных над границей поглощающей среды. Целью доклада является объяснения физических механизмов воздействия проводимости земли на изменение КПД ФАР.

## II. Постановка задачи

Вертикальные решетки диполей (рис.1) соответствует решетке, выбранной в [1]. Электрические и магнитные диполи в решетках ориентированы либо вертикально (рис.1а), либо горизонтально (рис.1.б).

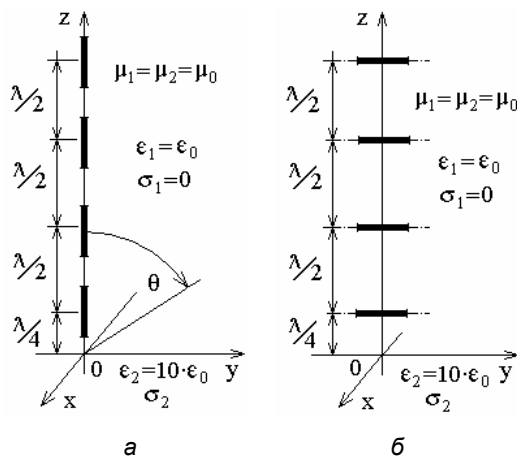


Рис. 1. Решетки диполей над землей.

Fig. 1. Dipole arrays over the ground

Нижнее полупространство ( $z < 0$ ) представляет собой диссипативную среду 2, у которой  $\mu_2 = \mu_0$ , остальные параметры ( $\epsilon_1, \sigma_1$ ), могут быть произвольными. Верхнее полупространство ( $z > 0$ ) заполнено вакуумом:  $\epsilon_1 = \epsilon_0$ ,  $\mu_1 = \mu_0$  и  $\sigma_1 = 0$ . Рабочая частота  $f_0$  выбрана равной 6 МГц. Распределение токов в решетках равномерное по амплитуде и прогрессивное по фазе:  $I_n^{z,M} = I_0^{z,M} e^{jn\xi}$ , где  $\xi$  – сдвиг

фазы между токами соседних диполей. Для дальнейших расчетов было выбрано значение относительной диэлектрической проницаемости среды 2 равное  $\epsilon_2 = 10$ , а величине  $\sigma_2$  придавалось три значения: 0,1, 0,01 и 0,001 сим/м. Это соответствует значениям  $tg\delta_2$  равным: 30, 3 и 0,3. Учитывалась действительная и мнимая часть коэффициента распространения  $\tilde{k}_2 = 2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_2 \epsilon_0 \mu_0 (1 - jtg\delta_2)}$ .

При численном моделировании использована методика, разработанная в работах [2, 3] и адаптированная в работе [1] для решения аналогичных задач решеток магнитных диполей.

## III. Интерпретация результатов

Изменение КПД представлено в зависимости от угла фазирования  $\theta = \arccos(\xi/k_0 d)$ , который определяет направление синфазного сложения полей отдельных излучателей, то есть направление главного максимума множителя решетчатости.

Зависимости КПД решетки вертикальных электрических диполей (ВЭД) показаны на рис.2,а. Соответствующие зависимости для вертикальных магнитных диполей (ВМД) – на рис.2.б.

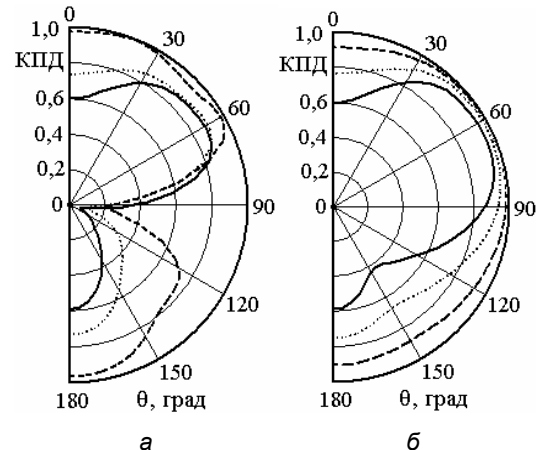


Рис. 2. КПД решеток вертикальных диполей.

Fig. 2. Efficiency of vertical dipole arrays

На рисунках сплошной линией показаны зависимости для  $\sigma_2 = 0,001$  сим/м, пунктирной – для  $\sigma_2 = 0,01$  сим/м и штриховой для  $\sigma_2 = 0,1$  сим/м.

Наибольшее отличие графики КПД имеют при  $\theta \approx 90^\circ$ , причем поглощение энергии для ВЭД существенно больше. Можно выделить два механизма, обуславливающих данное отличие.

Электрические токи на поверхности проводящей среды (XOY) формируют тангенциальную компоненту электрического поля  $E_\tau$ . В структуре ЭМП ВЭД имеется только азимутальная составляющая вектора  $\vec{H}$ . Она совместно с  $E_\tau$  создает нормальную к по-

верхности компоненту вектора Пойнтинга, т.е. уходящий вниз поток энергии. Он подпитывается энергией главного лепестка ДН. По мере удаления от источника и ослабления ЭМП вблизи поверхности ДН антенны будет изменяться, пока основной поток энергии не ограничится полупространством  $\theta > 90^\circ$ .

Второй механизм обуславливает последующее уменьшение КПД при  $\theta > 90^\circ$ , которое можно объяснить уменьшением коэффициента отражения при углах близких к углу Брюстера.

Зависимости КПД решеток горизонтальных электрических и магнитных диполей (ГЭД) и (ГМД) представлены на рис.3 а и рис.3 б.

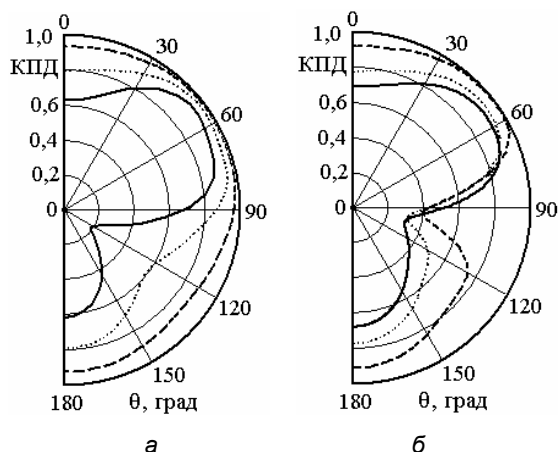


Рис. 3. КПД решеток горизонтальных диполей.

Fig. 3. Efficiency of horizontal dipole arrays

Максимальное значение КПД для всех типов рассматриваемых ФАР достигается при  $\theta \approx 60^\circ$ . При этом первый нуль множителя решетки ориентирован параллельно границе раздела. При  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 180^\circ$  КПД одинаков, так как решетка превращается в антенну бегущей волны, у которой при выбранных параметрах главный и задний лепестки одинаковы.

Распределение наведенных токов решетки ГЭД на поглощающей поверхности, ХОУ (рис.1) похоже на распределение токов решетки ВМД, что обусловило аналогичное поведение КПД при  $\theta \leq 90^\circ$ . При малом  $\sigma_2$  минимум КПД решеток ГЭД и ВМД наблюдается в случае, когда главный лепесток полностью расположен в секторе  $\theta > 90^\circ$ . Аналогичная ситуация возникает при сравнении поведения КПД решеток ГМД и ВЭД. Это также обусловлено тем, что токи на поверхности в обоих случаях имеют похожую структуру.

Структура полей и токов при возбуждении пространства решетками горизонтальных диполей в отличие от поля вертикальных диполей не является осесимметричной, поэтому при удалении от антенны вследствие неравномерного поглощения мощности ДН будет изменяться более сложным образом, чем у решеток вертикальных диполей.

#### IV. Заключение

Результаты данной работы позволяют сформировать адекватное представление действия физических факторов, что является полезными на стадии предварительной оценки и выбора оптимального типа приземных антенн.

#### V. Список литературы

- [1] Токарский П. Л., Панченко Ю. А. КПД решеток магнитных излучателей, расположенных над границей раздела двух сред // Радиотехника. 2006. Вып. 146. С.83-89.
- [2] Токарский П. Л. Взаимные сопротивления и КПД электрических диполей, расположенных вблизи поверхности раздела двух сред // Радиофизика и радиоастрономия. 1998. Т.3, № 4. С.434-440.
- [3] Токарский П. Л. Взаимные сопротивления между горизонтальными электрическими диполями на границе раздела двух сред // Радиотехника. 2001. Вып. 121. С.15-18.

### EFFICIENCY OF DIPOLE RADIATORS' VERTICAL ARRAYS OVER DISSIPATIVE HALF-SPACE

Panchenko Yu. A.

Kharkiv National University of Radio Electronics  
14, Lenin Lane, Kharkiv, 61166, Ukraine

Ph.: (057) 7021430, e-mail: panchenko84@yandex.ru

**Abstract** — An underlying surface affects significantly the parameters of near-earth antenna arrays. Physical mechanisms stipulating the power losses of field of the PAA operating near the absorbing surface are considered in the report.

#### I. Introduction

Despite a considerable amount of works devoted to investigations into this direction a number of problems are studied insufficiently.

#### II. Setting Up the Problem

Electric and magnetic dipoles in the arrays are aligned either vertically or horizontally. The lower half-space ( $z < 0$ ) represents a dissipative medium. Real and imaginary parts of the propagation coefficient  $\tilde{k}_2 = 2\pi f_0 \sqrt{\varepsilon_2 \varepsilon_0 \mu_0 (1 - jtg\delta_2)}$  were considered when analyzing the field. The technique, developed in [2, 3] and adapted in [1] for solution of similar problems of magnetic dipole arrays, was used in numerical simulation.

#### III. Interpretation of Results

The efficiency variation is presented depending on the phasing angle  $\theta = \arccos(\xi/k_0 d)$ , which defines the direction of separate radiators fields synphase addition, i.e. directions of the main maximum of the array factor. Dependences of arrays efficiency of the electric and magnetic dipoles, where the dipoles are arranged both horizontally and vertically (Fig. 1), are shown. The corresponding dependences of efficiency are shown in Fig. 2 and Fig.3. The efficiency graphs demonstrate the chief dissimilarity with  $\theta \approx 90^\circ$ , in this case the energy absorption for the electric dipole are significantly higher.

It is possible to single out two mechanisms determining the given difference. The first one is associated with the EMF energy absorption from the boundary layer over the surface. The second mechanism determines the subsequent decrease in efficiency with  $\theta > 90^\circ$ , which is attributable to the reflection coefficient decrease with the angles close to Brewster angle.

#### IV. Conclusion

Results of the given work make it possible to formulate an adequate representation of the physical factors action; this is useful on the stage of the preliminary estimation and choice of the near-earth antenna optimal type.