

**РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН  
НА ПАРАБОЛИЧЕСКИХ РЕШЕТКАХ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ**

*Трубин А.А., д. т. н., профессор*

*Национальный технический университет Украины  
"Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина*

**Вступление**

Решетки диэлектрических резонаторов (ДР) характеризуются очень малыми значениями диссипативных потерь, удобны для реализации пространственной и частотной селекции электромагнитных импульсов и в будущем смогут найти практическое применение в антенных и измерительных устройствах микроволнового, миллиметрового и инфракрасного диапазонов длин волн. Конструирование и расчет электрических параметров решеток опирается на данные по рассеянию волн. Задача рассеяния электромагнитных волн на решетках, представляющих систему связанных ДР, была сформулирована и решена в работе [1]. Дальнейшее развитие этого нового направления исследований открытых структур видится в изучении более детальных их свойств в зависимости от формы решеток, типов собственных колебаний ДР, а также вида источников возбуждения.

Основная трудность расчета параметров решеток, выполненных на основе ДР, заключается в сложности граничных условий, плохой прогнозируемости распределения амплитуд поля каждого из парциальных резонаторов при облучении системы в области частот их связанных колебаний. Приближенное решение задачи рассеяния удастся получить, только применив теорию возмущений [2 - 4], учитывая при этом необходимые фазовые соотношения, имеющие место при возбуждении и излучении волн.

**Постановка задачи.**

В настоящей работе рассмотрены результаты расчета параметров рассеяния плоской электромагнитной волны в открытом пространстве на квадратных решетках, состоящих из 10 x 10 цилиндрических ДР. Предполагается, что каждый из резонаторов возбуждается на основном типе собственных магнитных колебаний  $H_{101}^+$ . Центры ДР располагаются на плоской поверхности, или на поверхности параболической формы. Рассматриваются поля ближней зоны решеток.

На рис.1, 2 показаны возможные реализации решеток, состоящих из 10x10 одинаковых цилиндрических ДР, центры которых располагаются на плоской поверхности (рис. 1, а); поверхности в виде параболических цилиндров (рис. 2, а, б), или на поверхности параболоида вращения

(рис. 2, в). Считается, что оси всех резонаторов ориентированы параллельно друг другу и направлены вдоль оси  $y$ .

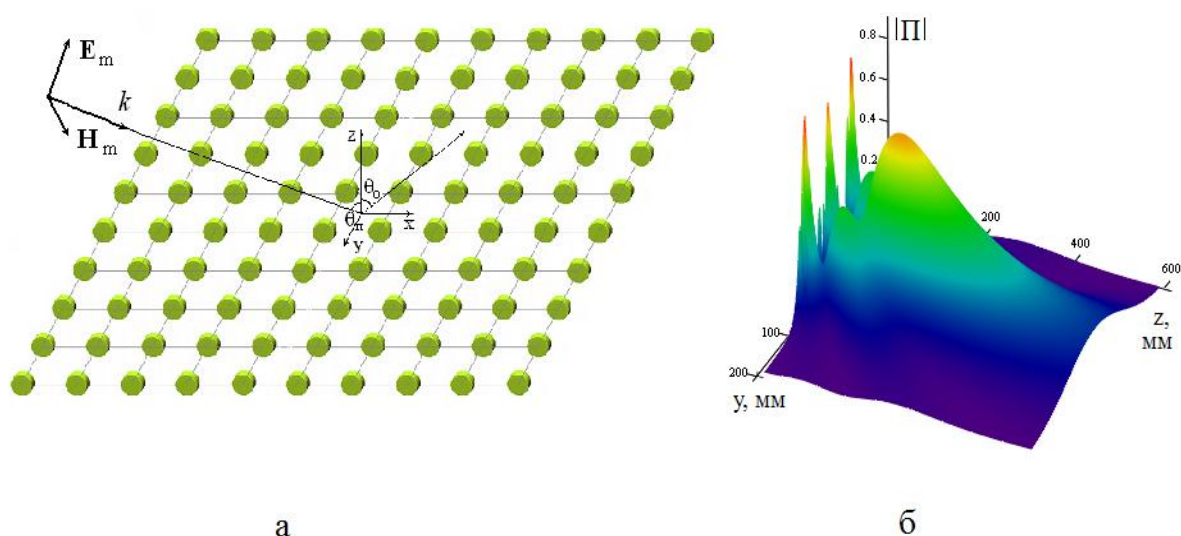


Рис. 1. а - плоская решетка цилиндрических ДР; б - распределение плотности потока мощности рассеянного поля в ближней зоне плоской решетки.

Предполагается также, что каждый резонатор выполнен из диэлектрика относительной проницаемости  $\epsilon_{1r} = 36$  и имеет относительные размеры  $\Delta = \frac{L}{2r_0} = 0,4$ . Здесь  $L$  – высота,  $2r_0$  – диаметр диэлектрического цилиндра. Расстояние между центрами соседних ДР выбиралось кратным величине  $\lambda_0/4$ , где  $\lambda_0$  – длина волны в открытом пространстве.

Допустим, что на решетку падает плоская линейно поляризованная волна ( $\vec{E}_m^+, \vec{H}_m^+$ ). Определим плоскость падения, как поверхность, содержащую волновой вектор  $\vec{k}$ , при этом ортогональную плоскости  $z = 0$  в системах координат, изображенных на рис. 1, 2, на поверхности решеток каждого вида. В дальнейшем будем считать, что вектор поляризации напряженности магнитного поля направлен ортогонально плоскости падения. В этом случае поле падающей волны может более эффективно взаимодействовать с резонаторами решетки, если они возбуждаются на колебаниях основных магнитных типов  $H_{101}^+$ .

Обозначим направление волнового вектора падающей волны  $\vec{k}$  углами падения  $(\theta_n, \varphi_n)$ , заданными в локальной сферической системе координат, расположенной в «центре» решетки. Здесь, как обычно,  $\theta_n$  – угол между осью  $z$  и направлением волнового вектора, а  $\varphi_n$  угол между проекцией волнового вектора на плоскость  $(x, y)$  и осью  $x$ .

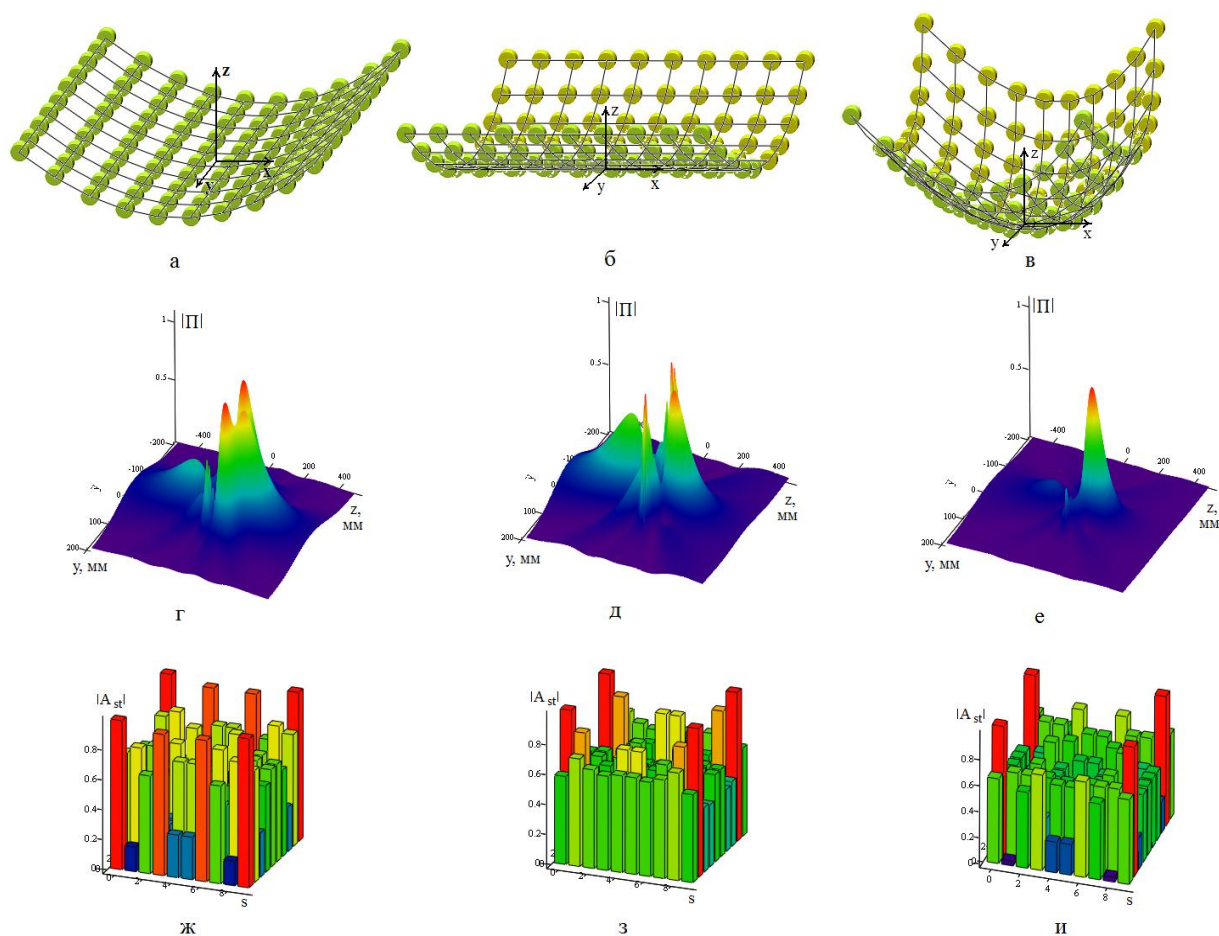


Рис. 2. а - в - 10x10 параболические решетки цилиндрических ДР; г - е - распределение плотности потока мощности поля рассеяния; ж - и - амплитуды вынужденных колебаний ДР решеток а - в.

### Поля ближней зоны решеток на ДР

Расчетная модель рассеяния была построена на основе теории возмущений для уравнений Максвелла с применением разложения поля рассеяния в резонансной области по связанным колебаниям поля системы ДР [2]. Коэффициенты связи цилиндрических ДР с падающей волной, а также коэффициенты взаимной связи в открытом пространстве рассчитывались по формулам, приведенным в [3, 4].

Поле рассеяния решеток рассматривалось в ближней зоне. В этом случае рассеянное поле решетки представлялось в локальной прямоугольной системе координат  $(x, y, z)$ , в виде суперпозиции полей каждого из парциальных резонаторов  $(\vec{e}_s, \vec{h}_s)$  ( $s = 1, 2, \dots, N$ ):

$$\begin{Bmatrix} \vec{e}(\omega, x, y, z) \\ \vec{h}(\omega, x, y, z) \end{Bmatrix} = \sum_{s=1}^N A_s(\omega) \begin{Bmatrix} \vec{e}_s(x, y, z) \\ \vec{h}_s(x, y, z) \end{Bmatrix}.$$

Здесь  $A_s(\omega)$  комплексная амплитуда вынужденных колебаний  $S$ -го ДР решетки, рассчитанная на частоте  $\omega$ , лежащей в области связанных колебаний системы резонаторов решетки.

Для увеличения связи резонаторов с полем падающей волны было выбрано направление распространения волны по нормали к плоскости  $(x, y)$  (см. рис. 1, 2:  $\theta_n = 0$ ;  $\varphi_n = 0$ ).

Как следует из результатов вычислений, приведенных на рис. 1, б, даже плоские решетки обладают способностью "концентрирования" поля в ближней зоне. При этом, максимальное значение вектора Пойнтинга, сравнимо по величине со значениями его в непосредственной близости от ДР.

Фокусирующая способность решеток заметно повышается, если резонаторы располагаются на какой-либо поверхности параболической формы. На рис. 2 показаны распределения вектора Пойнтинга в ближней зоне параболических решеток, изображенных на рис. 2, а - в. Видно, что в этом случае поле рассеяния в области фокусов решеток заметно превышает средние значения поля даже вблизи парциальных ДР. Наибольшее относительное возрастание поля имеет место для решеток в форме параболоидов вращения (рис. 2, в). Соответствующие распределения амплитуд вынужденных колебаний ДР имеет весьма сложную форму (См. рис. 2, ж - и). Как показали дальнейшие вычисления, максимальное значение потока рассеиваемой мощности быстро уменьшается при увеличении угла падения  $\theta_n$ .

В отличие от металлических поверхностей аналогичной формы, решетки ДР отражают только часть мощности падающей волны, поэтому их можно использовать в качестве селективных ответвителей мощности, а также в качестве основы для создания искусственных линз и пр.

### **Выводы**

Распределение поля, возникающее при резонансном рассеянии на параболических решетках ДР, характеризуется наличием максимумов отраженного поля, располагаемых в области фокусов параболических поверхностей. Плоские решетки ДР также обладают способностью концентрировать поле в ближней зоне при условии нормального падения волн.

### **Литература**

1. Трубин А.А. Рассеяние электромагнитных волн на плоской квадратной решетке цилиндрических диэлектрических резонаторов // "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". Севастополь. 2009, с. 405-407.
2. Трубин А.А. Рассеяние электромагнитных волн на системах связанных диэлектрических резонаторов // Радиотехника, №2, 1997, с. 35-42.
3. Трубин О.О., Шмиглюк Г.С. Моделювання параметрів антенної решітки на циліндричних діелектричних резонаторах // Вестн. Київ. политехн. ін-та. Радіотехніка, Радіоапаратобудування. - 2006.- Вып. 33. С. 101-108.
4. Трубин А.А. Исследование характеристик излучения дискового диэлектрического резонатора // Вестник Киев. Политехн. Ин-та, Радиотехника, вып. 21, 1984, с. 29-33.

*Трубін О.О. Розсіювання електромагнітних хвиль на параболічних решітках діелектричних резонаторів. Приведено результати розрахунків густини потоку потужності при розсіюванні електромагнітних хвиль у відкритому просторі на квадратних плоских та параболічних решітках циліндричних діелектричних резонаторів. Розглянуті загальні закономірності просторового розподілу розсіяного поля в ближній зоні. Встановлено наявність максимумів розсіяного поля поблизу фокусів параболічних решіток. Відзначено селективність відносно напрямів падіння хвиль.*

**Ключові слова:** електромагнітні хвилі, розсіювання, діелектричні резонатори, решітка

*Трубін А.А. Рассеяние электромагнитных волн на параболических решетках диэлектрических резонаторов. Приведены результаты вычислений плотности потока мощности при рассеянии плоских электромагнитных волн в открытом пространстве на квадратных плоских и параболических решетках цилиндрических диэлектрических резонаторов. Рассмотрены общие закономерности пространственного распределения рассеянного поля в ближней зоне. Установлено наличие максимумов рассеянного поля в области фокусов параболических решеток. Отмечена селективность относительно направлений падения волн.*

**Ключевые слова:** электромагнитные волны, рассеяние, диэлектрические резонаторы, решетка

*Trubin A.A. Electromagnetic waves scattering by parabolic lattices of dielectric resonators. Calculation results scattering of plane electromagnetic waves on a parabolic and plane lattices of dielectric resonators in the open space were presented. Every resonator of lattice excited on main azimuthally symmetric oscillation of it lowest magnetic mode. Common pattern of spatial distribution scattering field in the short-distance zone has been examined. It's showing to a possibility of field increasing in the lattice focuses area.*

**Keywords:** electromagnetic wave scattering, dielectric resonators, the lattice