

УДК 621.396.67 (075.8)

## ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАССЕЯНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН

О.А. ЮРЦЕВ, АЛЬ-РИФАИ А, Ю.Ю. БОБКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 21 апреля 2006*

Анализируется зависимость эффективной площади рассеяния линейной антенной решетки директорных антенн от числа излучателей в решетке. Используется комбинация метода, разработанного для объектов сложной формы, и метода интегральных уравнений.

*Ключевые слова:* антенная решетка, директорная антенна, эффективная площадь рассеяния, диаграмма рассеяния, метод моментов.

### Введение

Антенные решетки вибраторных (или директорных) антенн используются как средне- и высоконаправленные антенны в метровом и дециметровом диапазонах волн. Анализ характеристик излучения и рассеяния таких решеток посвящен ряд статей. При небольшом числе излучателей в решетке используется метод интегральных уравнений (ИУ) [1]. При большом числе излучателей этот метод непригоден, так как приводит к необходимости численного решения системы линейных алгебраических уравнений очень высокого порядка. В этом случае для расчета эффективной площади рассеяния (ЭПР) используется, например, метод, разработанный для расчета ЭПР сложных радиолокационных объектов [2]. В этом случае ЭПР решетки рассчитывается без учета взаимодействия излучателей в составе решетки, что приводит к большим ошибкам определения ЭПР. Авторами рассмотрен метод, являющийся комбинацией первого и второго метода. При этом решетка делится на несколько подрешеток. Для каждой подрешетки поле рассеяния определяется методом ИУ. Поле рассеяния всей решетки определяется векторным суммированием полей подрешеток. Такой метод позволяет существенно повысить точность определения ЭПР решетки. В плане реализации этого метода возникает ряд задач: определение числа излучателей в подрешетке, которые существенно влияют на диаграмму направленности излучателя в составе подрешетки за счет взаимодействия; оценка погрешности расчета ЭПР таким методом по сравнению с методом интегральных уравнений применительно ко всей решетке; оценка погрешностей вычисления составляющих ЭПР — полной, антенной и структурной составляющих. Эти вопросы далее рассматриваются на примере линейной решетки директорных антенн с различным числом директоров.

### Метод исследования

Для расчета поля излучения и рассеяния решетки и подрешеток используется интегральное уравнение Поклингтона [1]. При определении тока в проводниках антенны в режимах излучения и рассеяния интегральное уравнение сводится к системе линейных алгебраических уравнений. В качестве базисных и весовых функций используются импульсные функции. По

распределению тока в проводниках антенны определялось поле рассеяния  $E_s$  методом векторного потенциала. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) в соответствии с ее определением связана с напряженностью электрического поля рассеяния ( $E_s$ ) и полем плоской волны, возбуждающей антенну ( $E_i$ ), выражением  $ЭПР = 4\pi R^2 |E_s/E_i|^2$ , где  $R$  — расстояние до точки приема рассеянного поля.

Полная ЭПР ( $\sigma$ ) определяется при коротком замыкании входов всех излучателей в решетке. Антенная часть ЭПР ( $\sigma_a$ ) определяется по коэффициенту усиления ( $G$ ) выражением  $\sigma_a = \lambda^2/4\pi G$ , что соответствует полному отражению принятого антенной сигнала от нагрузки излучателя. Структурная составляющая ЭПР ( $\sigma_s$ ) определяется по полю рассеяния при подключении к входам излучателей согласованных нагрузок. Во всех случаях рассчитывается отношение  $ЭПР/\lambda^2$ , где  $\lambda$  — длина волны.

### Геометрические параметры антенны

Рассматривается линейная антенная решетка. Излучатели решетки — директорные антенны. Оси директорных антенн ориентированы вдоль оси  $Z$  (рис. 1). Излучатели расположены вдоль оси  $X$ . Плоскость поляризации — плоскость  $XZ$ ; число излучателей в решетке —  $M_x$ ; число излучателей в субрешетке —  $M$ ; число субрешеток в решетке —  $N$ ; расстояние между излучателями по оси  $X$  —  $D_x$ ; число директоров в директорной антенне —  $N_d$ . В директорной антенне использован линейный рефлектор. Численное моделирование проведено на частоте 300 МГц. Размеры всех элементов директорных антенн выбраны так, чтобы в изолированном излучателе в режиме излучения реактивная часть входного сопротивления была равна нулю. Далее рассматривается однопозиционная ЭПР при облучении антенны электромагнитной волной, распространяющейся навстречу оси  $Z$  (с направления главного максимума диаграммы направленности синфазной решетки в режиме излучения).

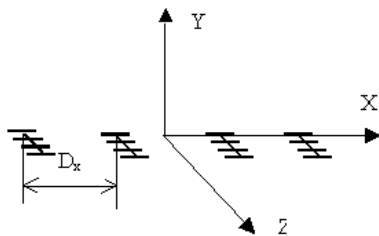


Рис. 1. Антенная решетка

### Результаты численного моделирования

На рис. 2 показана зависимость структурной составляющей однопозиционной ЭПР ( $\sigma_s/\lambda^2$ ) от числа излучателей в решетке  $M_x$ . Излучатель решетки — директорная антенна с числом директоров  $N_d=0$ . Расчет проведен методом интегральных уравнений для всей решетки — кривая 1. На этом же рисунке (кривая 2) показана зависимость  $\sigma_s/\lambda^2$  от числа излучателей в решетке, рассчитанная по формуле из работы [2], полученной для сложного объекта, состоящего из  $M_x$  простых объектов:

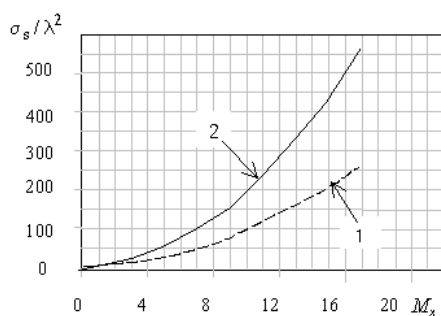


Рис. 2. Зависимость  $\sigma_s/\lambda^2$  от числа  $M_x$

$$\sigma = \left| \sum_{j=1}^N \sqrt{\sigma_j} \exp(i\psi_j) \right|^2, \quad (1)$$

где  $\sigma_j$  — ЭПР одного простого объекта;  $\psi_j$  — относительная фаза поля, соответствующая объекту с номером  $j$ . В решетке простым объектом является один излучатель, все излучателя одинаковые. При облучении решетки вдоль оси  $-Z$  фазы рассеянного поля в обратном направлении (вдоль оси  $+Z$ ) одинаковые. В этом случае формула (1) принимает вид

$$\sigma_s = N^2 \sigma_{s1}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{s1}$  — ЭПР одного излучателя. Результаты, полученные методом ИУ, более точные, так как этот метод является строгим и не использует какие-либо приближения. Из рис. 2 следует, что расчеты по формуле (2) существенно отличаются от результатов, полученных методом ИУ. Это объясняется тем, что диаграмма рассеяния антенной решетки зависит от диаграммы направленности (ДН) одного излучателя в составе решетки, а она существенно зависит от взаимодействия излучателей между собой. Формула (2) не учитывает такого взаимодействия. На рис. 3 показана ДН одного изолированного излучателя (директорная антенна с  $N_d=0$ ), на рис. 4 показана ДН одного центрального излучателя в составе решетки с  $M_x=17$ , когда все остальные излучатели нагружены на согласованные нагрузки. В обоих случаях расчет сделан методом ИУ. Из рис. 3 и 4 следует, что коэффициент усиления изолированного излучателя ( $G$ ) значительно больше, чем излучателя в составе решетки. Поэтому формула (2) дает завышенное значение ЭПР.

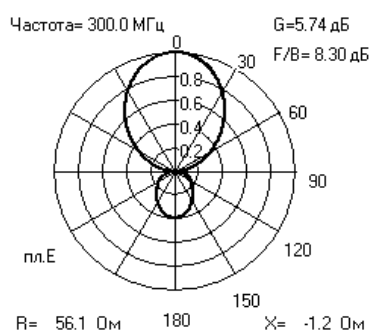


Рис. 3. ДН изолированного излучателя

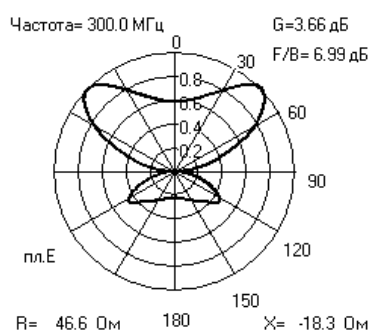


Рис. 4. ДН одного излучателя в составе решетки

Проведены расчеты ЭПР ( $\sigma_s/\lambda^2$ ) методом ИУ для субрешеток, содержащих число излучателей  $M=3, 5, 7, 9$ . Далее использована формула (2) для определения ЭПР решетки с числом субрешеток  $N=2, 3, 4, 5$ . В таких решетках общее число излучателей соответственно равно  $M_x=MN$ . Для решетки с числом излучателей  $M_x$  рассчитана величина ЭПР ( $\sigma_s/\lambda^2$ ) также и методом ИУ. Такие расчеты сделаны для решеток из директорных антенн с числом директоров  $N_d=0, 1, 2$ . Далее решетки, разделенные на субрешетки, обозначаются символом  $M \times N$ : решетки, для которых метод ИУ применен в целом для всей решетки, — символом  $M_x$ . Примеры результатов расчет приведены на рис. 5, 6. На этих рисунках обозначено: линия 1 — результаты расчета структурной составляющей ЭПР для решеток с числом излучателей  $M_x=5, 10, 15, 20$ .

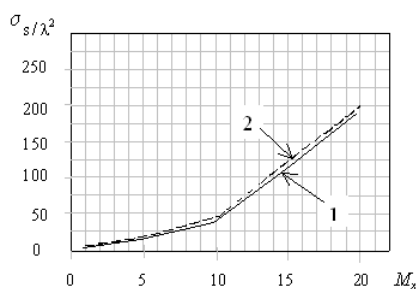


Рис. 5. Зависимость  $\sigma_s/\lambda^2$ ,  $N_d=0$

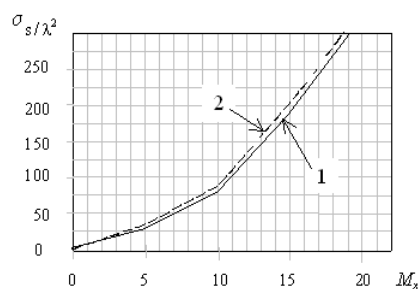


Рис. 6. Зависимость  $\sigma_s/\lambda^2$ ,  $N_d=1$

Причем для каждой из решеток ЭПР рассчитывалась методом интегральных уравнений в целом для всей решетки. Линия 2 — результаты расчета структурной составляющей ЭПР методом ИУ и по формуле (2). При этом величина  $\sigma_{s1}$  рассчитывалась методом интегральных уравнений только для подрешетки с числом излучателей  $M=5$ , число подрешеток соответственно равно  $N=1, 2, 3, 4$ .

Аналогичные результаты получены для антенной составляющей ЭПР ( $\sigma_a/\lambda^2$ ), рассчитанной в режиме излучения по значению коэффициента усиления, и для полной составляющей ЭПР ( $\sigma/\lambda^2$ ) в режиме рассеяния при коротком замыкании входов излучателей. Наибольший ин-

терес представляет структурная составляющая ЭПР  $\sigma_s/\lambda^2$ , соответствующая рассеянию плоской волны решеткой, входы излучателей которой нагружены на согласованные нагрузки. Это соответствует реальным условиям работы антенной решетки. Структурная составляющая поля рассеяния создается излучением токов в проводниках антенны, которые наводятся плоской волной.

Описанный способ использован также для расчета диаграммы рассеяния (ДР) — зависимости ЭПР от угловых координат точки наблюдения. Поле рассеяния определялось как произведение поля рассеяния одной группы излучателей на множитель системы решетки, излучателями которой являлись группы излучателей. Поле рассеяния группы определялось ИУ. На рис. 7 показаны нормированные ДР, рассчитанные предложенным способом и применением для все решетки метода ИУ для решетки с параметрами  $N_d=0$ ,  $M_x=10$ ;  $\theta_m$  — угол между направлением распространения плоской волны и осью +Z. Как видно, предложенный способ расчета многоэлементных линейных антенных решеток позволяет достаточно точно определить ЭПР и диаграмму рассеяния.

### Заклучение

Разделение антенной решетки на субрешетки, использование метода ИУ для расчета поля рассеяния для одной субрешетки, последующее векторное суммирование полей субрешеток позволяет существенно увеличить точность расчета ЭПР решетки по сравнению с методом,

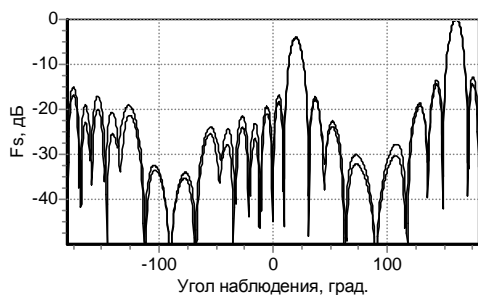


Рис. 7. Диаграмма рассеяния

рассмотренным в работе [2]. Такой способ позволяет с достаточной точностью рассчитать ЭПР решеток с большим числом излучателей. Применение метода ИУ в целом к решетке с большим числом излучателей приводит к неразрешимой системе линейных алгебраических уравнений. Применение рассмотренного комбинированного метода требует предварительного расчета ДН центрального излучателя решетки с небольшим числом излучателей при пассивных остальных излучателях. В процессе этого расчета необходимо определить число излучателей в решетке, при котором ДН активного излучателя слабо зависит от числа излучателей, т.е. определить число излучателей в субрешетке.

## RADAR CROSS SECTION (RCS) OF MULTIELEMENT LINEAR DIPOLE ANTENNA ARRAY

O.A. YURTSEV, A. A. ALRIFAI, Y.Y. BOBKOV

### Abstract

The RCS of linear Uda-Yagi antenna array antennas versus number of radiators in array is analyzed. In the work the combination of two methods: developed for complex objects and a method of the integrated equations are used.

### Литература

1. Вычислительные методы в электродинамике. / Под ред. Р. Митры. М., 1977. 485 с.
2. Crispin J.W., Maffett A.L. // Proceedings of the IEEE. 1989. Vol. 77, № 5. (Русский перевод: ТИИЭР. 1989. Т. 77, № 5. С. 1115–1125.