

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ПЕРИСКОПИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

И.В. Норинчак
(представил д.т.н., проф. В.И. Замятин)

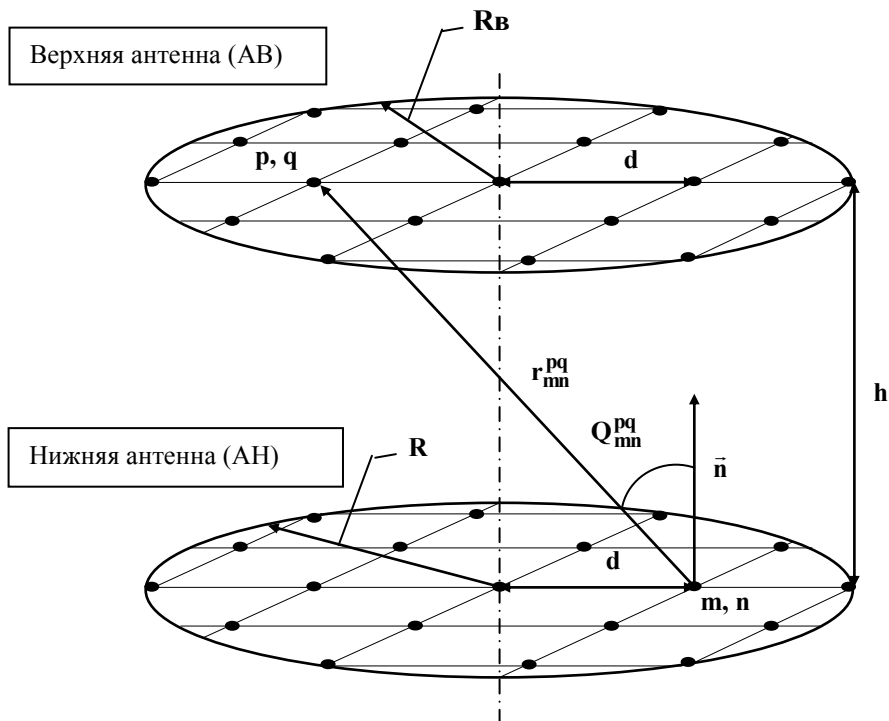
На основе анализа распределения электромагнитного поля в промежуточной зоне показана возможность достижения более высоких значений коэффициента направленного действия за счет оптимизации амплитудно - фазового распределения излучающей антенны перископической системы.

Достаточно актуальными в настоящее время являются проблемы оптимизации структуры электромагнитного поля (ЭМП) в промежуточной зоне (зоне Френеля). Задачи подобного рода могут возникать при разработке систем передачи энергии на расстояние, перископических антенных систем и т.д. В данной статье вопросы оптимизации поля в зоне Френеля рассмотрены на примере перископической антенной системы. Для такой системы важным является требование максимизации коэффициента направленного действия (КНД). Величина КНД зависит от структуры поля в промежуточной зоне облучающей антенны, которое в свою очередь определяется амплитудно-фазовым распределением (АФР) в раскрыве этой антенны. На сегодняшний день возможность максимизации КНД за счет подбора необходимого АФР изучена недостаточно.

Цель настоящей работы – исследовать возможность увеличения общего КНД перископической антенной системы путем оптимизации АФР в облучающем раскрыве.

Для проведения расчетов была выбрана модель перископической системы, состоящая из двух плоских круговых антенных решеток, одна из которых расположена на высоте h от другой (рис. 1). Элементы решеток размещены в узлах квадратной сетки с шагом $d = 0.5\lambda$. Излученная нижней антенной (АН) электромагнитная волна переизлучается верхней антенной (АВ) в требуемом направлении. Очевидно, что КНД такой системы будет зависеть от того, насколько эффективно верхняя антенна «перехватывает» излучаемую нижней антенной мощность и насколько равномерно распределено поле по поверхности АВ. Потенциально достижимый КНД D такой системы можно оценить, опреде-

лив отношение квадрата суммы амплитуд поля $\left(\sum_{p,q} |E_{pq}^B| \right)^2$, принимае-



мого элементами АВ, к сумме квадратов амплитуд возбуждающих полей в нижней антенне $\sum_{m,n} |E_{mn}^H|^2$.

Рис.1. Модель перископической системы

При расчете величины \mathbf{D} необходимо учесть, что АВ находится в промежуточной зоне нижней антенны. Тогда амплитуда поля в $\mathbf{p, q}$ - м элементе АВ [1] с точностью до постоянного множителя может быть представлена в виде

$$E_{pq}^B \cong \sum_{m,n} E_{mn}^H \frac{1}{r_{mn}^{pq}} \frac{(1 + \cos(\theta_{mn}^{pq}))}{2} \exp(-j(k r_{mn}^{pq} + \varphi_{mn})) \quad , \quad (1)$$

где φ_{mn} – фаза возбуждения $\mathbf{m, n}$ - го элемента АН;

r_{mn}^{pq} – расстояние между p, q - м элементом верхней и m, n - м элементом нижней решетки;

$k = 2\pi/\lambda$ – волновое число;

θ_{mn}^{pq} – угол между нормалью \vec{n} к нижней решетке и вектором, проведенным из m, n - го элемента АН в p, q - й элемент АВ.

В (1) учтено, что элементы АН представляют собой излучатели Гюйгенса. Тогда КНД может быть определен по формуле

$$D = B \left(\sum_{p,q} |E_{pq}^B| \right)^2 / \sum_{m,n} |E_{mn}^H|^2, \quad (2)$$

где B – коэффициент, не зависящий от АФР АН.

Из (1) следует, что распределение поля в зоне Френеля будет существенно изменяться в зависимости от высоты до АВ. Поскольку КНД зависит от амплитуды поля в АВ, то его величина также будет изменяться с высотой. Кроме того, коэффициент направленного действия зависит и от размеров АВ. На рис. 2 представлены рассчитанные по формуле (2) зависимости $G(h/\lambda)$, полученные для различных диаметров АВ и нормированные к максимальному значению КНД, достигнутому при наибольшем размере верхней апертуры.

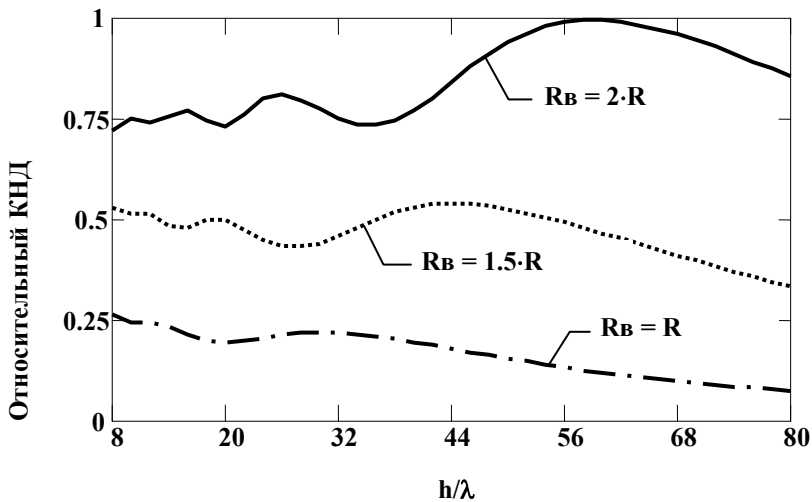


Рис.-2. Зависимость КНД от высоты для различных размеров АВ

Из рис. 2 следует, что зависимость $G(h/\lambda)$ в начале промежуточной зоны носит слегка осциллирующий характер, а затем по мере приближения к границе дальней зоны ($R_{дз} \approx 100\lambda$) монотонно убывает. На рис. 3 сплошной линией показано распределение амплитуды поля вдоль диаметра верхней антенны $Dв = 2D = 14\lambda$ для $h/\lambda = 12$. Из рис. 3 видно, что распределение амплитуды по апертуре АВ неравномерное. Следовательно, есть основания предполагать, что путем оптимизации АФР АН распределение поля в АВ можно изменить так, чтобы увеличить КНД всей системы. Соответствующая оптимизационная задача представляет нахождение максимального значения коэффициента направленного действия D при варьировании параметров E^H и φ , т.е.

$$D^{(max)} = \max_{E^H, \varphi} D. \quad (3)$$

Задача оптимизации амплитудно – фазового распределения была решена градиентным методом наискорейшего спуска [2]. На рис. 3 пунктиром показано распределение амплитуды поля, полученное после решения оптимизационной задачи (3).

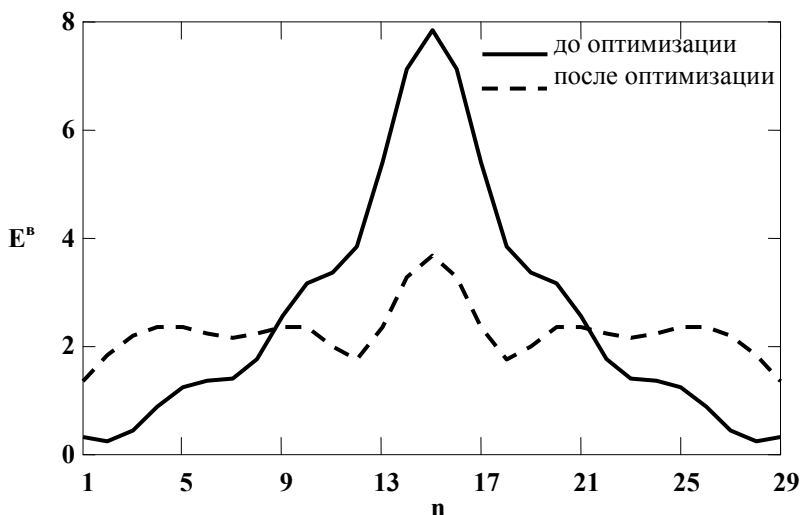


Рис. 3. Распределение амплитуды поля в АВ

Из рисунка видно, что в результате оптимизации распределение амплитуд на АВ стало более равномерным, за счет чего увеличился КНД всей системы.

На рис. 4 представлены графики зависимостей $G(h/\lambda)$, полученные в результате оптимизации возбуждения излучающей антенны.

Чтобы оценить достигаемый в результате оптимизации выигрыш в величине КНД зависимости на рис. 2 и 4 нормированы к одной и той же величине.

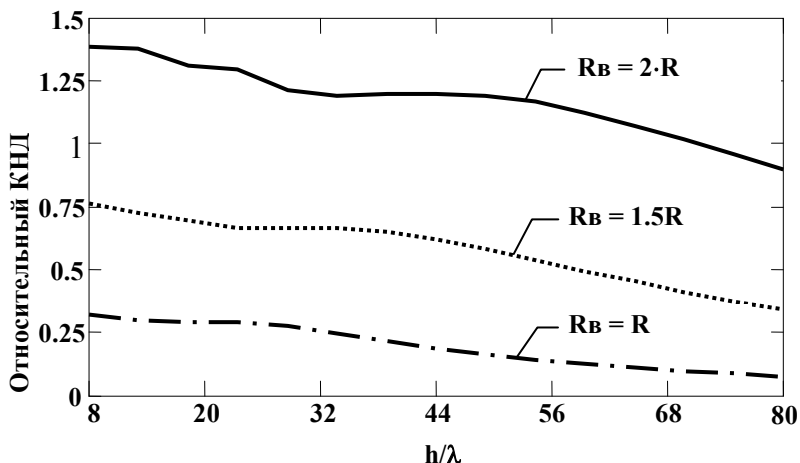


Рис. 4. Зависимость оптимального КНД от высоты для различных размеров АВ

Сравнение данных, представленных на рис. 2 и 4, позволяет сделать следующие выводы. Оптимизация АФР облучающей антенны перископической системы может дать заметный выигрыш в величине КНД. При расположении АВ в начале зоны Френеля этот выигрыш составляет около 30% для $R_b = R$, 45% для $R_b = 1.5R$ и 80% для $R_b = 2R$. Величина выигрыша зависит как от расстояния между антеннами, так и от размеров АВ. С приближением к границе дальней зоны выигрыш в величине КНД становится незначительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
2. Моисеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 352 с.