

Методика оценки влияния амплитудного и фазового распределения на характеристики диаграммы направленности фазированной антенной решётки

77-48211/654638

09, сентябрь 2013

Чепурнов И. А., Некрасов Е. Г.

УДК 621.388

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

nekrasov.e.g@gmail.com

chepurnov@bmstu.ru

При моделировании фазированных антенных решеток (ФАР) сложных радиолокационных систем и комплексов необходимо учитывать потери энергии в системе распределения мощности или управления лучом, вызванные ошибками амплитудного и фазового распределения на раскрыве [1, 2]. Предлагаемая авторами методика позволяет производить такой учет на основании статистики ошибок, полученной в ходе оценки влияния амплитудного и фазового распределения на характеристики диаграммы направленности (ДН). Методика охватывает все основные этапы расчета ФАР.

На начальном этапе необходимо определить расстояние между элементами (шаг) ФАР. Сделаем допущение, что геометрические размеры излучающих элементов несущественны, и элементы заменены точечными излучателями. Тогда шаг решетки будет зависеть от следующих параметров: рабочая длина волны λ , максимальный угол отклонения в азимутальной или угломестной плоскости, тип решётки (прямоугольная или гексагональная) [2, 3]. Учитывая эти соображения, можно записать выражение для определения шага прямоугольной ФАР в виде

$$d_{\text{пр}} \leq \frac{\lambda}{1 + \sin(\theta_{\text{откл макс}})},$$

где $\theta_{\text{откл макс}}$ – максимальный угол отклонения луча. Шаг гексагональной решётки можно определить из условия

$$d_{\text{гекс}} \leq \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\lambda}{1 + \sin(\theta_{\text{откл max}})}$$

Зная расстояние между элементами и геометрические размеры апертуры ФАР, определим количество ее элементов. В геометрическом центре решётки расположен «центральный» элемент. Для различных типов решётки количество элементов различно (для гексагональной решётки это число меньше).

Далее необходимо расположить элементы в пространстве. В декартовой системе координат каждый элемент будет иметь координату (X, Y, Z) . Для не отклонённого луча координата Z для всех элементов равна нулю. На рис. 1, 2 представлены полученные в процессе моделирования с использованием системы Matlab [4] варианты размещения излучающих элементов в раскрыве прямоугольной и гексагональной ФАР. Моделирование проводилось для $\theta_{\text{откл}} = 45^\circ$, $\lambda = 0,03$ м, $D = 0,2$ м.

Настоящая методика рассматривалась для двух случаев амплитудного распределения: равномерного и косинусного. Во втором случае в качестве варьируемого параметра вводится относительный уровень амплитуды крайнего элемента по отношению к центральному.

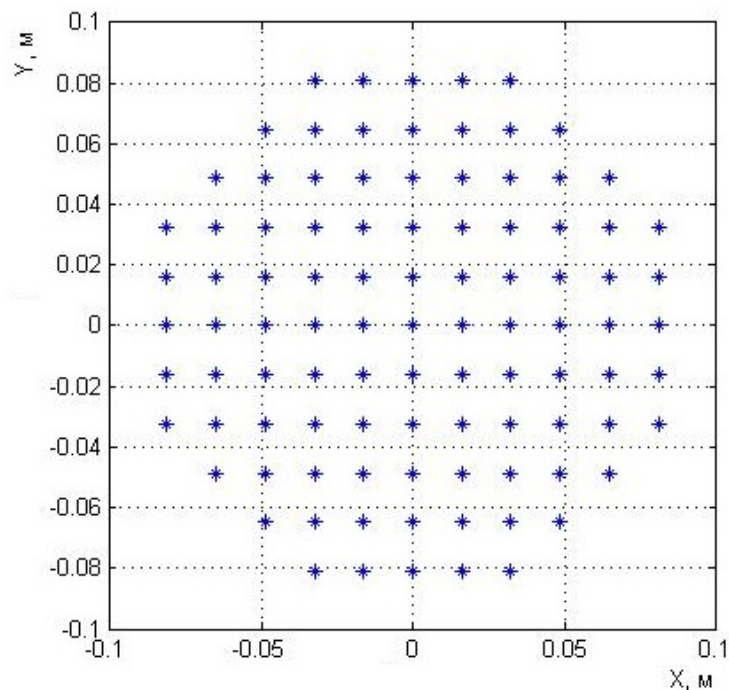


Рис. 1. Расположение элементов в раскрыве прямоугольной ФАР

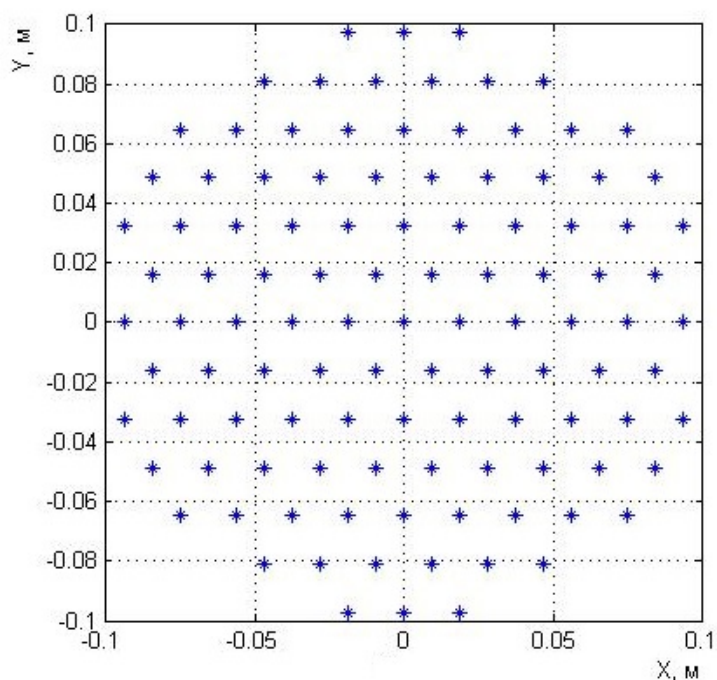


Рис. 2. Расположение элементов в раскрыве гексагональной ФАР

Фазовое распределение можно охарактеризовать следующими фазами, которыми обладает каждый элемент раскрыва ФАР: начальная фаза $\Phi_{\text{нач}}$, фаза, характеризующая отклонение луча $\Phi_{\text{откл}}$, фаза коррекции $\Phi_{\text{кор}} = \Phi_{\text{откл}} - \Phi_{\text{нач}}$. Каждый элемент обладает набором дискретных значений, характеризующихся типом фазовращателя. В силу этого коррекция происходит неидеально.

При известном амплитудном и фазовом распределении ФАР можно построить ДН ФАР. Она рассчитывается по формуле

$$F(\theta, \varphi) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{m,n} \cdot e^{j\Phi_{m,n}} \cdot e^{-jk(X_{m,n} \cos(\varphi) + Y_{m,n} \sin(\varphi)) \sin(\theta)} \cdot f_{\text{изл}}(\theta, \varphi), \quad (1)$$

где $A_{m,n}$ – амплитуда элемента с номером m,n , $X_{m,n}$ – координата X элемента с номером m,n , $Y_{m,n}$ – координата Y элемента с номером m,n , $\Phi_{m,n}$ – фаза элемента, $f_{\text{изл}}(\theta, \varphi)$ – диаграмма направленности одного излучающего элемента ФАР.

В качестве излучающего элемента ФАР возьмём абстрактное устройство с косинусной ДН (рис. 3).

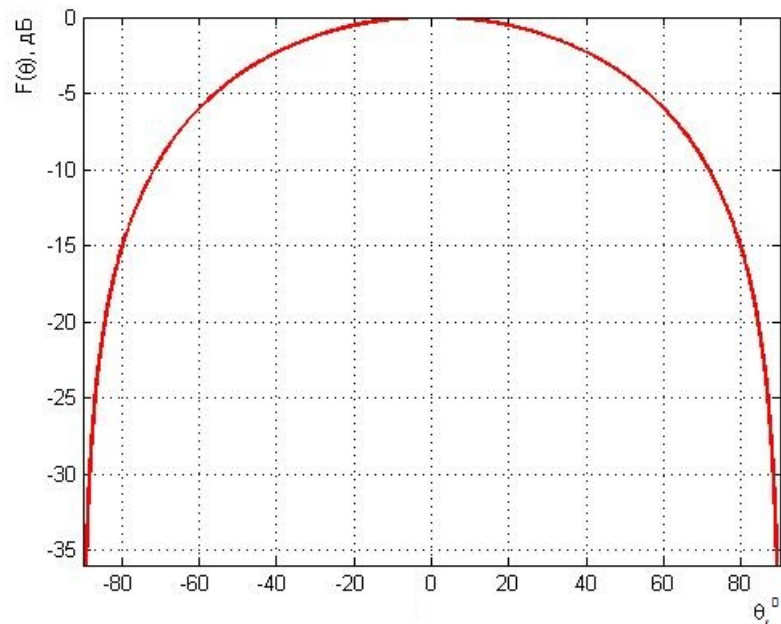


Рис. 3. ДН одного излучающего элемента ФАР

Для не отклонённого луча ДН ФАР рассчитывается по формуле (1). Для отклонённого же луча пространственный множитель будет отличаться. Это связано с тем, что азимутальная и угломестная плоскости будут проходить под другими углами в выбранной декартовой системе координат. Поэтому отклонение луча можно заменить эквивалентным поворотом плоскости ФАР на некие углы. Эти углы рассчитываются по формулам

$$\alpha_{\text{ум}} = -\text{arctg}(\text{tg}(\theta_{\text{откл}}) \cdot \cos(\varphi_{\text{откл}})), \quad \alpha_{\text{аз}} = \text{arctg}(\text{tg}(\theta_{\text{откл}}) \cdot \sin(\varphi_{\text{откл}})).$$

Далее, используя матрицы поворота вокруг осей X и Y на углы $\alpha_{\text{ум}}$ и $\alpha_{\text{аз}}$ соответственно, переходим от плоскостной модели решётки к пространственной. Этот факт меняет расчёт пространственного множителя

$$e^{-jk(((X_{m,n} \cos(\varphi) + Y_{m,n} \sin(\varphi)) \cdot \sin(\theta)) + Z_{m,n} \cdot \cos(\theta))}$$

На рис. 4, 5 представлены ДН ФАР с косинусным амплитудным распределением в азимутальной и угломестной плоскостях при различных отклонениях луча, полученные в результате моделирования, проводимого в рамках предлагаемой методики.

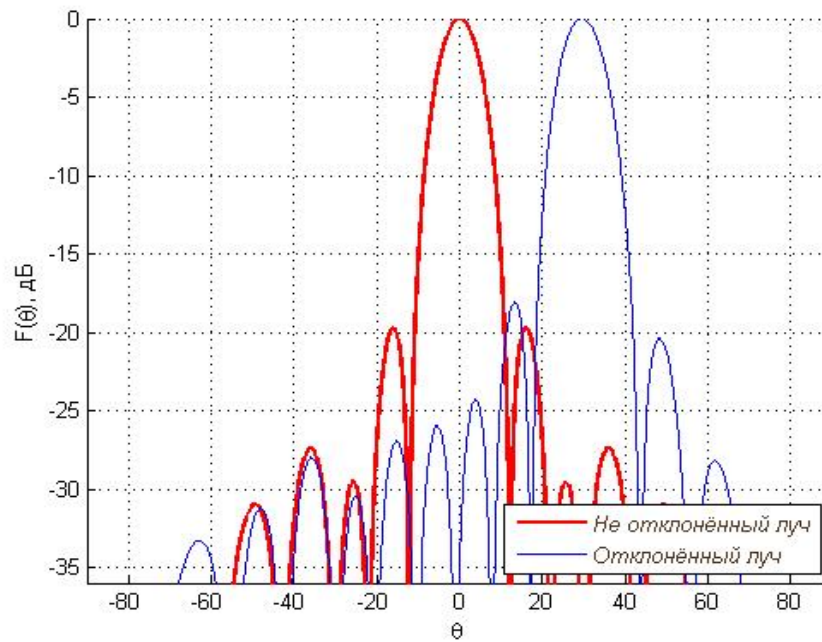


Рис. 4. ДН ФАР в азимутальной плоскости при отклонении луча: $\varphi_{\text{откл}} = 45^\circ$, $\theta_{\text{откл}} = 45^\circ$

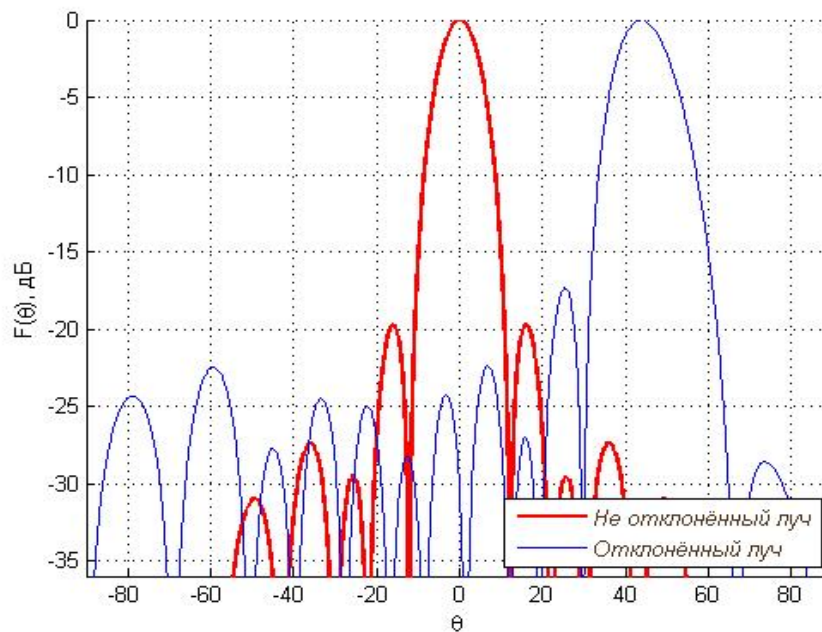


Рис. 5. ДН ФАР в угломестной плоскости при отклонении луча: $\varphi_{\text{откл}} = 90^\circ$, $\theta_{\text{откл}} = 45^\circ$

В таблице 1 приведены результаты моделирования ДН прямоугольной ФАР с косинусным амплитудным распределением (уровень возбуждения крайних элементов 0,75).

Таблица 1. Основные характеристики ДН ФАР

Отклонение луча	Плоскость	Ширина главного лепестка ДН, град	Уровень боковых лепестков, дБ	Изменение уровня сигнала, дБ
не отклонённый	азимутальная	9,96	-19,74	-
	угломестная	9,96	-19,74	
$\varphi_{\text{откл}} = 0^\circ$ $\theta_{\text{откл}} = 45^\circ$	азимутальная	13,53	-17,34	-2,92
	угломестная	9,94	-19,65	
$\varphi_{\text{откл}} = 90^\circ$ $\theta_{\text{откл}} = 45^\circ$	азимутальная	9,94	-17,34	-2,92
	угломестная	13,53	-19,65	
$\varphi_{\text{откл}} = 45^\circ$ $\theta_{\text{откл}} = 45^\circ$	азимутальная	10,82	-18,07	-1,23
	угломестная	10,82	-18,07	

Таким образом, предложенная методика позволяет учитывать влияние различных видов амплитудного и фазового распределения на характеристики ДН при моделировании ФАР перспективных радиолокационных систем и комплексов.

Список литературы

1. Федоров И.Б. Информационные технологии в радиотехнических системах. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. С. 33-36.
2. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М. Устройства СВЧ и Антенны. – М.: Изд-во «Радиотехника», 2006. С. 163-166.
3. Чепурнов И.А., Серов С.А., Воротнюк Ю.С. Военно-техническая подготовка. Введение в специальность. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. С. 98-102.
4. Mahafza B.R. Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB. – CHAPMAN&HALL/CRC, 2000. С. 373-376.