УДК 621.396.677

МЕТОД АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО СИНТЕЗА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ПРИ ЗАДАННЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ОГИБАЮЩУЮ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ

А. В. Литвинов, С. Е. Мищенко, С.А. Шелкоплясов
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»,
344038, Ростов-на-Дону, ул. Нансена, 130

Статья поступила в редакцию 17 апреля 2018 г., после доработки – 13 августа 2018 г.

Аннотация. Предложен итерационный метод амплитудно-фазового синтеза антенной решетки по требованиям к огибающей боковых лепестков. В качестве критерия использовано отношение сигнал/(помеха+шум). Приведено аналитическое выражение для формирования в ходе итерационного процесса весовой функции, учитывающей требования к огибающей боковых лепестков. Работоспособность и сходимость предложенного метода подтверждена в ходе проведения численных исследований на примерах линейной и плоской антенных решеток.

Ключевые слова: огибающая боковых лепестков, антенная решетка, диаграмма направленности, матричный синтез.

Abstract. The method of the amplitude-phase synthesis of the antenna array on requirements for the sidelobe envelope is offered. The maximum of ratio of the signal-to-noise+interference (SNR) is used as criteria. In this the distribution of the interferences is set with the help of the weight function. To the forming the weight function during the iterative process take into account the preassigned sidelobe envelope the analytical expression is represented. The task of the maximization of the SNR is solved for every step of the iterative process. If the level of the sidelobe of the forming radiation pattern exceeds the sidelobe envelope in any direction then the weight function is increased in this direction. If the level of the sidelobe of the forming radiation pattern lower of the sidelobe envelope then the weight function is decreased in this direction. The exit from the iterative process is performed on

reaching of the required quantity of the steps or in condition of the realization of requirements for accuracy of the realization of the sidelobes or the energy of the antenna arrays. The choice of the weight function providing the acceptable quality of the approximation of the sidelobe envelope makes it possible to achieve the formulating purpose of the proposing method. The results of the task solution of the synthesis of the linear and flat antennas arrays with various initial parameters of the iteration process and requirements to the sidelobe envelope are showed. The illustrations characterizing convergence of the method and the quality of the array antenna radiatin pattern are represented.

Key words: sidelobe envelope, antenna array, radiation pattern, matrix synthesis.

1. Введение

При проектировании антенных решеток (АР) неизбежно возникают требования к уровню боковых лепестков формируемой диаграммы направленности (ДН) или огибающей боковых лепестков (ОБЛ). Для формирования заданной ОБЛ можно использовать методы аппроксимационного синтеза [1]. При этом качество аппроксимации может регулироваться за счет увеличения значений весовой функции в требуемой области углов [2]. Однако аппроксимационные методы часто приводят к решениям, которые неэффективны с точки зрения энергетики антенны. В связи с этим представляют интерес методы, которые позволяют оптимизировать энергетику антенны при ограничениях на огибающую боковых лепестков.

Цель статьи – создание метода амплитудно-фазового синтеза антенной решетки, обеспечивающего оптимальную энергетику антенны при заданных ограничениях на огибающую боковых лепестков.

2. Математическая модель антенной решетки

Рассмотрим M -элементную АР, которая в течение времени T принимает сигнал с комплексной огибающей $u_0(t)$ с направления (θ_0, φ_0).

Пусть ДН элементов в составе АР описываются комплексными функциями $f_m(\theta, \varphi)$ $(m = 1, 2, ..., M)$, тогда ДН АР можно представить в виде:

$$F(\theta,\varphi)=\sum_{m=1}^{M}A_m f_m(\theta,\varphi), \tag{1}$$

где A_m – комплексная амплитуда возбуждения m-го элемента.

Очевидно, что мощность принимаемого сигнала с учетом выражения (1) определяется выражением вида:

$$P_0=\left|F(\theta_0,\varphi_0)\right|^2\int_0^T\left|u_0(t)\right|dt=p_0\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M}A_mA_n f_m(\theta_0,\varphi_0)\,f_n^{*}(\theta_0,\varphi_0)= \tag{2}$$
$$=p_0\mathbf{A}\mathbf{S}_0\mathbf{A}^H,$$

где символ «*» обозначает операцию комплексного сопряжения; H – обозначает эрмитово сопряжение вектора; $p_0=\int_0^T\left|u_0(t)\right|dt$ – мощность сигнала на входе АР.

В каждом канале АР присутствует шум с комплексной огибающей $n_m(t)$.

Суммарную мощность шума можно представить при помощи соотношения

$$N=\sum_{m=1}^{M}A_m\sum_{n=1}^{M}A_n^{*}\int_0^T n_m(t)n_n^{*}(t)\,dt=\sum_{m=1}^{M}A_m\sum_{n=1}^{M}A_n^{*}I_{m,n}=\mathbf{A}\mathbf{I}\mathbf{A}^H. \tag{3}$$

Тепловой шум в каналах АР можно считать статистически независимым, с нулевым математическим ожиданием и равными дисперсиями шума σ^2 в каждом канале. При этом внедиагональные элементы матрицы $\mathbf{I}$ обращаются в нуль, а общее выражение для элементов матрицы $\mathbf{I}$ может быть представлено в виде:

$$I_{m,n}=\begin{cases}\sigma^2, & m=n;\\ 0, & m\neq n.\end{cases} \tag{4}$$

Распределение мощности внешних помех и шумов зададим при помощи функции $\rho(\theta,\varphi)$. В этом случае результирующая мощность шумов на выходе АР может быть представлена в виде:

$$P=\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M}A_mA_n^{*}\iint_{\Omega}\rho(\theta,\varphi)\,f_m(\theta,\varphi)\,f_n^{*}(\theta,\varphi)\sin\theta\,d\theta\,d\varphi=\mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}^H. \tag{5}$$

С учетом введенных обозначений отношение сигнал/(помеха+шум) (ОСПШ) на выходе АР можно представить в матричном виде:

$$q^2 = \frac{P_0}{P+N} = p_0 \frac{\mathbf{A}\mathbf{S}_0\mathbf{A}^H}{\mathbf{A}(\mathbf{S}+\mathbf{I})\mathbf{A}^H}. \quad (6)$$

Отметим, что в выражении (6) элементы матрицы $\mathbf{S}_0$ зависят от направления максимума ДН. Элементы матрицы $\mathbf{S}$ при заданной геометрии АР определяются пространственным распределением помех и их мощностью. Эти параметры зависят от вида функции $\rho(\theta,\varphi)$. В зависимости от складывающейся помеховой обстановки матрица $\mathbf{S}$ не всегда положительно определена. Напротив, матрица $\mathbf{I}$ является диагональной, которой всегда можно поставить в соответствие обратную матрицу. Если мощность шумов соизмерима с мощностью помех, то сумма $\mathbf{S}+\mathbf{I}$ представляет собой положительно определенную эрмитову матрицу.

В теории матриц существуют теоремы, определяющие условие максимума отношения эрмитовых форм [3]. На основании этих теорем для положительно определенной эрмитовой матрицы $\mathbf{S}+\mathbf{I}$ максимум выражения (8) достигается для вектора

$$\mathbf{A}_{opt} = \mathbf{A}_0(\mathbf{S}+\mathbf{I})^{-1}, \quad (7)$$

где применительно к методам матричного синтеза АР элементы вектора $\mathbf{A}_0$ описываются выражением:

$$A_{0m} = \exp\left(-ik\left(x_m \sin\theta_0 \cos\varphi_0 + y_m \sin\theta_0 \sin\varphi_0 + z_m \cos\theta_0\right)\right), \quad (8)$$

(x_m, y_m, z_m) – координаты фазовых центров элементов АР; k – волновое число.

3. Обоснование метода синтеза

Рассмотрим применение матричной модели АР для решения задачи формирования требуемой огибающей боковых лепестков.

Пусть $r(\theta,\varphi)$ – действительная функция, описывающая заданную ОБЛ, которая задана в области Ω_{SL}.

Требуется найти такой вектор $\mathbf{A}_{opt}$, который обеспечивает максимум

функционала

$$q^2\left(\mathbf{A}\right)=\frac{\mathbf{A}\mathbf{S}_0\mathbf{A}^H}{\mathbf{A}\left(\mathbf{S}+\mathbf{I}\right)\mathbf{A}^H} \tag{9}$$

и позволяет сформировать нормированную ДН АР, которая в области Ω_{SL} удовлетворяет условию

$$\left|F\left(\theta,\varphi\right)\right|\le r\left(\theta,\varphi\right). \tag{10}$$

Сопоставление функционала (9) с выражением (6) показывает, что они совпадают с точностью до постоянного множителя, равного p_0. В связи с этим для решения сформулированной задачи синтеза возможно использовать выражение (7).

На основании выражения (7) можно утверждать, что при отсутствии помех, когда все элементы матрицы $\mathbf{S}$ равны нулю, максимум выражения (9) достигается при $\mathbf{A}_{opt}=\mathbf{A}_0$. Этому решению соответствует также максимальное значение коэффициента направленного действия (КНД) АР.

Из теории матричного синтеза также известно, что при наличии одной и более помех в результате применения выражения (7) достигается максимальное значение ОСПШ за счет одновременного формирования «нулей» ДН в направлениях прихода помех и максимизации мощности P_0 в направлении на источник сигнала. При этом глубина формируемых нулей зависит от задаваемой мощности помехи. Выражение (7) также применяют для формирования протяженных нулей ДН. В этом случае глубина подавления помех также зависит от распределения мощности помех в пределах области Ω_{SL}. Это означает, что выбор функции $\rho\left(\theta,\varphi\right)$ влияет на характер распределения и огибающую боковых лепестков формируемой ДН $\left|F\left(\theta,\varphi\right)\right|$. В то же время взаимосвязь между функцией $\rho\left(\theta,\varphi\right)$ и ОБЛ не является однозначной. Например, если направление прихода помехи совпадает с нулем ДН, то эта помеха не окажет влияние на амплитудно-фазовое распределение. В связи с этим для решения сформулированной задачи необходимо найти такую

весовую функцию $\rho(\theta,\varphi)$, которая после подстановки в выражение (5) и определения амплитудно-фазового распределения по формуле (7) обеспечит максимальное значение выражения (6) и выполнение требования (9).

Представим решение сформулированной задачи синтеза в виде итерационного процесса, на каждом шаге которого с номером t уточняется вид функции распределения внешних источников помех $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)$. Здесь и в дальнейшем значение в треугольных скобках будет обозначать номер шага итерационного процесса.

При инициализации итерационного процесса положим $\rho^{\langle t=0\rangle}(\theta,\varphi)=0$. В соответствии с выражением (7) при такой инициализации итерационного процесса получим $\mathbf{A}_{opt}^{\langle 0\rangle}=\dfrac{1}{\sigma^2}\mathbf{A}_0$, откуда по формуле (1) можно вычислить ДН АР $F^{\langle 0\rangle}(\theta,\varphi)$.

С учетом введенных обозначений на произвольном шаге $t>0$ итерационного процесса будем определять новую весовую функцию

$$\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)=\begin{cases}0, & (\theta,\varphi)\notin\Omega_{SL};\\ \rho^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)+\alpha, & \left|F^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)\right|>r(\theta,\varphi);\\ \rho^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)/2, & \left|F^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)\right|<0{,}7r(\theta,\varphi);\\ \rho^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi) & 0{,}7r(\theta,\varphi)\le\left|F^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)\right|\le r(\theta,\varphi).\end{cases} \qquad (11)$$

Рассмотрим выражение (10) более подробно.

Условие $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)=0$ при $(\theta,\varphi)\notin\Omega_{SL}$ определяет, что в области главного луча источники внешних помех отсутствуют. Это часть выражения (11) не зависит от номера итерации t.

Если в некотором направлении $(\theta,\varphi)\in\Omega_{SL}$ на предыдущем шаге значение амплитудной ДН $\left|F^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)\right|$ превысило заданный уровень огибающей боковых лепестков, то это означает необходимость увеличения весовой функции $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)$. В связи с этим данной ситуации соответствует

вторая строка выражения (10) и $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)=\rho^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)+\alpha$, где коэффициент $\alpha>0$ определяет скорость изменения функции $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)$.

Возможна и обратная ситуация, при которой уровень боковых лепестков в направлении (θ,φ) заметно ниже заданной огибающей боковых лепестков. Если в данном направлении множитель решетки обеспечивает формирование нуля ДН, то значение функции $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)$ не окажет влияния на решение задачи синтеза по формуле (7). Однако гораздо чаще возникает ситуация, при которой требования к ОБЛ выполняются за счет потери усиления антенны при снижении уровня боковых лепестков во всей области $(\theta,\varphi)\in\Omega_{SL}$. В этом случае необходимо уменьшать значения функции $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)$. Это достигается при помощи третьей строки выражения (11). Следует отметить, что числовой коэффициент 0,7 в третьей и четвертой строках выражения (11) определяет точность аппроксимации, заданной ОБЛ. Фактически, с его помощью несколько ниже заданной ОБЛ формируется еще одна вспомогательная ОБЛ, при помощи которой регулируется чувствительность подбираемой весовой функции к уровню боковых лепестков (УБЛ) формируемой ДН.

Четвертой строке при формировании функции $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)$ соответствует случай, при котором уровень боковых лепестков, с одной стороны, не превышает заданный и находится в непосредственной близости от требуемого уровня. При этом, как видно из выражения (10), $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)=\rho^{\langle t-1\rangle}(\theta,\varphi)$.

После формирования функции $\rho^{\langle t\rangle}(\theta,\varphi)$ по формуле (5) могут быть определены элементы матрицы $\mathbf{S}^{\langle t\rangle}$, а затем по формуле (7) − амплитудно-фазовое распределение $\mathbf{A}_{opt}^{\langle t\rangle}$.

Правила выхода из итерационного процесса можно установить при выполнении одного или нескольких условий:

1) достижение предельного числа итераций;

2) выполнение требований к уровню боковых лепестков;

3) достижение минимально допустимого значения КНД АР.

Циклическое повторение процесса уточнения функции $\rho^{\langle t \rangle}(\theta,\varphi)$ по формуле (10) эквивалентно подбору такого пространственного распределения источников внешних помех, при котором по формуле (7) обеспечивается максимальное значение выражения (6), определяющего величину ОСПШ, и выполняются требования к ОБЛ. В результате достигается основной результат предлагаемого метода: формирование ДН с наилучшей энергетикой при выполнении требований к ОБЛ.

4. Результаты численных исследований

В качестве первого примера, подтверждающего работоспособность метода, была рассмотрена задача синтеза $M = 32$-х элементной линейной эквидистантной АР с шагом между излучателями $d = 0,55\lambda$ и ДН элементов, описываемых комплексными функциями $f_m(\theta) = \exp\left(ikx_m \sin\theta\right)\cos\theta$ (k – волновое число; $x_m = d\left(m - 0,5\left(M+1\right)\right)$ – координата фазового центра m-го элемента АР).

Заданная огибающая боковых лепестков определялась по формуле

$$r(\theta) = \begin{cases} 0, & \theta \in \left(-55^o; -45^o\right); \\ 0,02\cos(\theta), & \theta \in \left[-90^o; -55^o\right] \cup \left[-45^o; 8,2^o\right] \cup \left[31,8^o; 90^o\right]; \\ 0,07\cos(\theta), & \theta \in \left(8,3^o; 14,1^o\right) \cup \left(25,9^o; 31,7^o\right). \end{cases} \quad (12)$$

При этом максимум ДН был ориентирован в направлении $\theta_0 = 20^o$.

Следует отметить, что реализуемая ДН описывает непрерывное распределение поля. В связи с этим, если заданная ОБЛ содержит нулевые участки, то в этом случае может существовать только приближенное решение задачи синтеза. При этом в результате синтеза будет выбрано такое единственное решение, которому соответствует минимальный уровень боковых лепестков на нулевом участке ОБЛ при реализации требований к ОБЛ на остальных участках и максимальном значении КНД АР. В случае, если нулевые участки ОБЛ отсутствуют, то в процессе решения задачи синтеза будет найдено

такое решение, при котором будут реализованы требования к ОБЛ и максимизировано КНД АР.

На рис. 1 черная штриховая кривая характеризует требования к ОБЛ, а синяя кривая – иллюстрирует форму ДН АР при использовании в раскрыве спадающего по закону «косинус» амплитудного распределения.

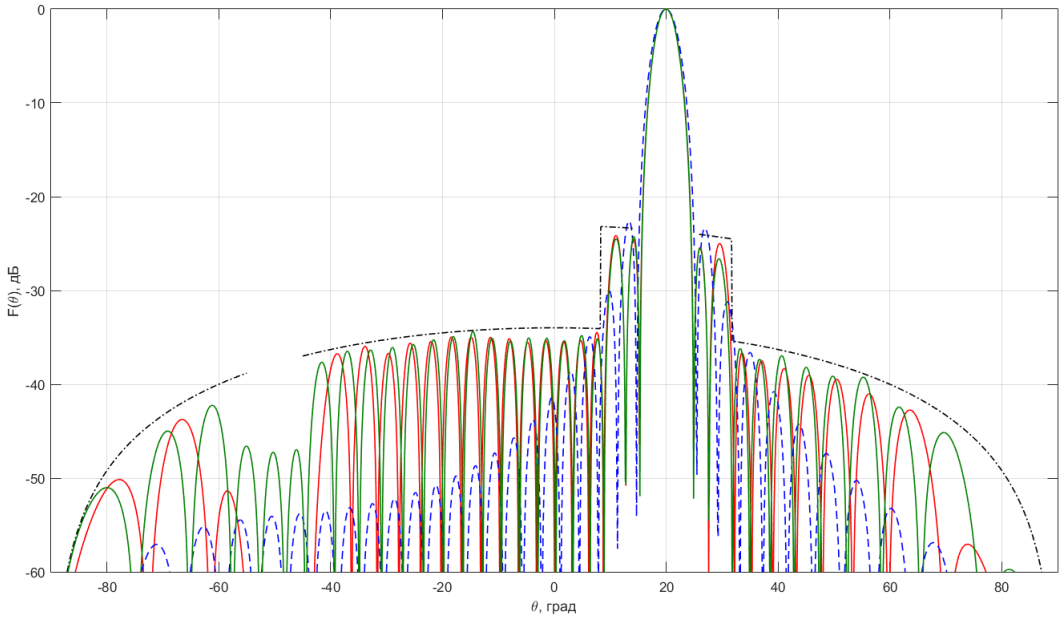

Рис. 1. заданная ОБЛ (штрих-пунктирная кривая) и ДН линейной АР, полученные при использовании спадающего по закону «косинус» амплитудного распределения и распределения (синяя кривая), полученного предлагаемым методом при нулевой области ОБЛ (красная кривая) при отсутствии нулевой области ОБЛ (зеленая кривая).

Как видно, использование стандартного распределения в раскрыве позволяет получить ДН, ОБЛ которой практически соответствует заданной. Этой ДН соответствует «плоский» КНД, рассчитанный по формуле [4]

$$D = \frac{\pi \left| F\left(\theta_0\right)\right|^2}{\int\limits_{-\pi/2}^{\pi/2} \left| F\left(\theta\right)\right|^2 d\theta} \qquad (13)$$

и равный 16,1 дБ. В соответствии с [4] КНД плоской АР представляет собой произведение плоских КНД для ортогональных сечений ДН, разделенного на число π .

Сплошная кривая красного цвета на рис. 1 соответствует синтезированной ДН, которая получена при помощи предлагаемого метода после выполнения 500 итераций при $\alpha = 0,001$. Оценка КНД в этом случае равна 16,7 дБ.

Чтобы сформировать реализуемые требования к ОБЛ в первой строке выражения (12) нулевой уровень был заменен на уровень 0,005 (-46 дБ). Этим исходным данным на рис. 1 соответствует кривая зеленого цвета. Общий подход к решению задачи синтеза при изменении выражения (12) остался тем же самым.

Из сопоставления кривых на рис. 1 следует, что предлагаемый метод обеспечил формирование более узкого луча и качественное приближение ОБЛ к заданной во всей области Ω_{SL}.

На рис. 2 и 3 представлены синтезированные амплитудное и фазовое распределения после 500 итераций. На рис. 3 из фазового распределения исключен линейный фазовый набег, соответствующий отклонению луча. На данных рисунках синяя, красная и зеленая кривые получены при $\alpha = 0,1; 0,01; 0,001$ соответственно.

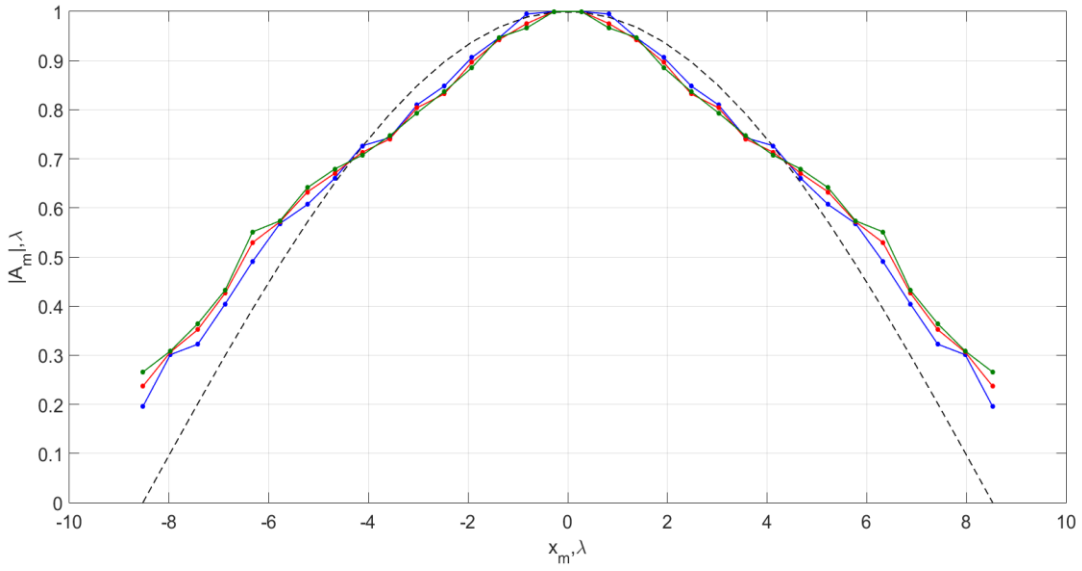

Рис. 2. Распределение амплитуд в АР: штриховая кривая – по закону «косинус», синяя, красная и зеленая кривые – синтезированные при $\alpha = 0,1; 0,01; 0,001$ соответственно

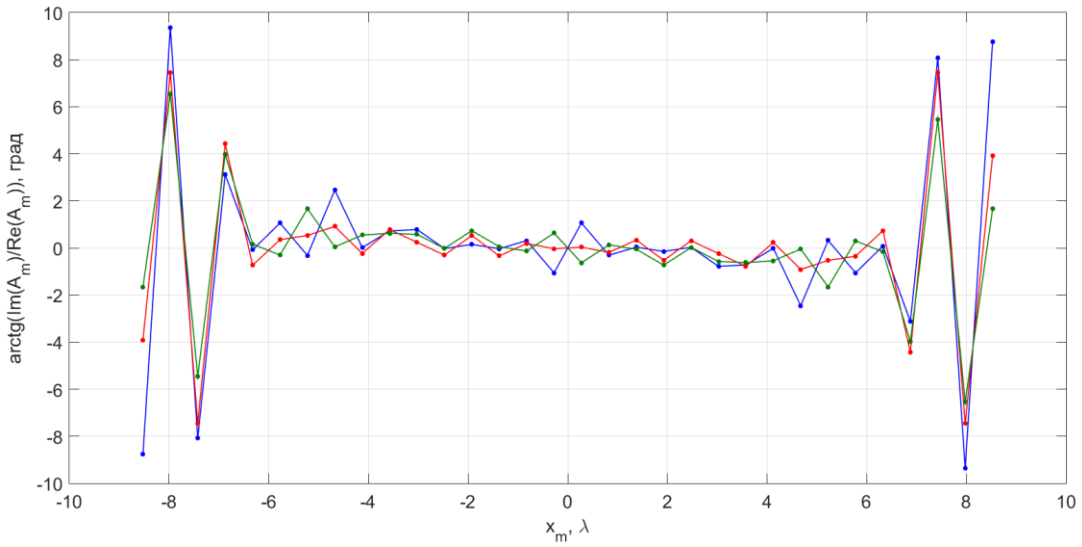

Рис.3. Распределение фаз в АР без учёта линейного фазового набега: синяя, красная и зелёная кривые – синтезированные при $\alpha = 0,1; 0,01; 0,001$ соответственно.

Отметим, что комплексные амплитуды, необходимые для формирования ДН, описываемой зеленой кривой на рис. 1 очень похожи на решения задачи синтеза, приведенные на рис. 2 и 3.

Анализ приведенных распределений показывает, что хотя полученные решения близки, при уменьшении значения α происходит увеличение «пьедестала» амплитудного распределения (т.е. наименьшего амплитудного значения) и выравнивание фазового распределения.

Сходимость итерационного процесса иллюстрируют результаты на рис. 4 и 5. На рис. 4 показано изменение максимального превышения УБЛ над заданной ОБЛ в ходе итерационного процесса, а на рис. 5 − изменение величины плоского КНД АР, рассчитанного по формуле (12). Цвета кривых на данных рисунках зависят от выбора параметра α и совпадают с цветами кривых, введенными на рис. 2 и 3.

Анализ рисунков 4 и 5 показывает, что при наибольшем значении параметра α результирующая величина КНД оказалась наименьшей. При этом на начальных итерациях наблюдаются резкие изменения КНД и наибольшего превышения УБЛ. Резкие перепады показателей на рис. 4 и 5 при $\alpha = 0,1$ продолжались около 25…30 итераций. Это время необходимо для определения

общего характера функции $\rho(\theta)$. При уменьшении значения α резкие колебания на старте итерационного процесса исчезают.

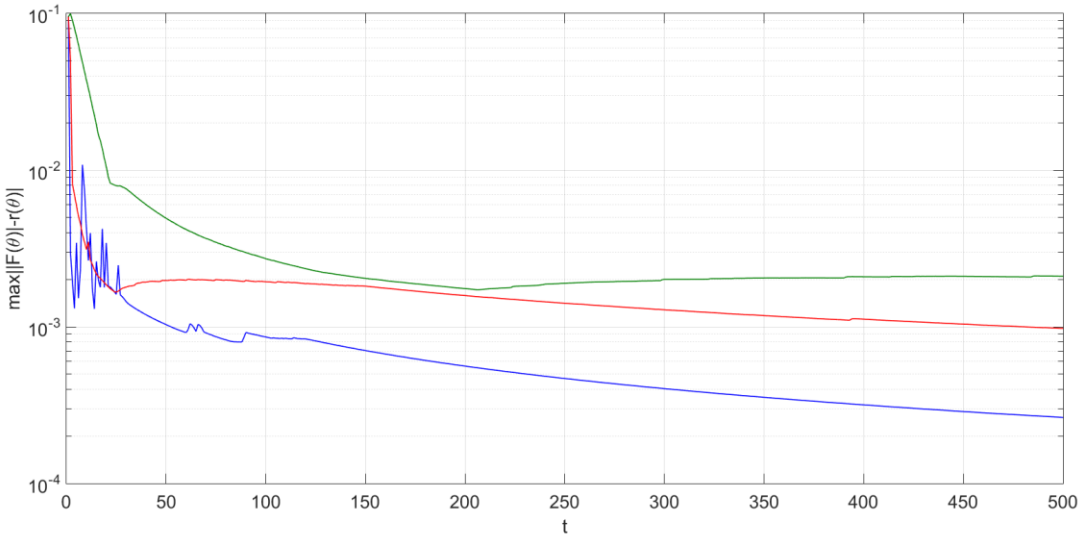

Рис. 4. Изменение максимального превышения УБЛ формируемой амплитудной ДН над заданной ОБЛ при различных значениях параметра α в ходе итерационного процесса.

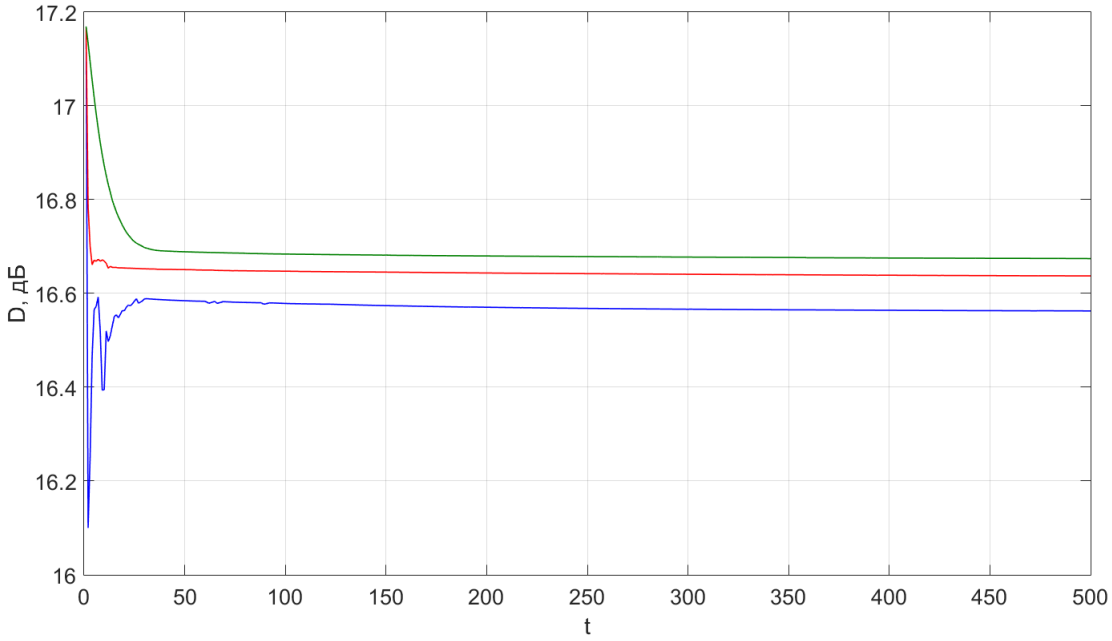

Рис. 5. Изменение величины КНД АР при различных значениях параметра α в ходе итерационного процесса.

Обращает на себя внимание конечный результат синтеза. При наибольшем значении параметра α достигается наименьшая величина КНД,

наилучшее подавление боковых лепестков и наоборот. Такой результат закономерен, учитывая, что при увеличении КНД обычно растет УБЛ. Это означает, что для достижения наилучшей энергетики АР целесообразно стремиться к уменьшению значения параметра α.

Из анализа рис. 5 следует, что значение КНД АР стабилизируется уже после 50 итераций для всех рассмотренных значений параметра α. Далее происходит только некоторое уточнение формируемой огибающей боковых лепестков.

Обоснование метода показывает, что он применим и для решения задач синтеза плоских или выпуклых АР. В этом случае размерность задачи может резко возрастать, что может привести к существенным временным затратам на обращение матрицы $(\mathbf{S}+\mathbf{I})$.

В качестве второго примера была решена задача синтеза АР, состоящей из 32х32 элементов, расположенных в узлах прямоугольной сетки с шагом $0,55\lambda$ вдоль каждой координаты. Огибающая боковых лепестков была задана двумя уровнями, 0,07 и 0,02. Кроме того, в секторе углов $\varphi \in \left[-15^o, 15^o\right]$ при $\sin\theta > 0,3$ требовалось обеспечить низкий уровень боковых лепестков. При этом ДН элементов описывались комплексными функциями

$$f_{m_x+M_x(m_y-1)}(\theta,\varphi) = \exp\left(ik\sin\theta\left(x_{m_x}\cos\varphi + y_{m_y}\sin\varphi\right)\right)\cos\theta, \qquad (14)$$

где $m_x, m_y = 1,2,...,32$ – номера элементов в столбце и строке АР соответственно; $\left(x_{m_x}, y_{m_y}\right)$ – координаты фазового центра элемента АР, размещенного в столбце с номером m_x и строке – m_y.

На рис. 6 приведена объемная ДН, полученная в результате решения задачи синтеза после 200 итераций при $\alpha = 0,01$. На этом же рисунке показана выбранная ОБЛ.

Видно, что цель синтеза достигнута и все боковые лепестки имеют уровень ниже заданного. Максимальный КНД рассматриваемой АР при равномерном синфазном возбуждении был равен 35,9 дБ. В ходе

итерационного процесса наблюдалось монотонное уменьшение КНД и превышения УБЛ над заданной ОБЛ. Так, к 200 итерации величина КНД снизилась до 33,54 дБ. Дальнейшее снижение КНД, по-видимому будет связано с пределами областей главного луча и боковых лепкестков.

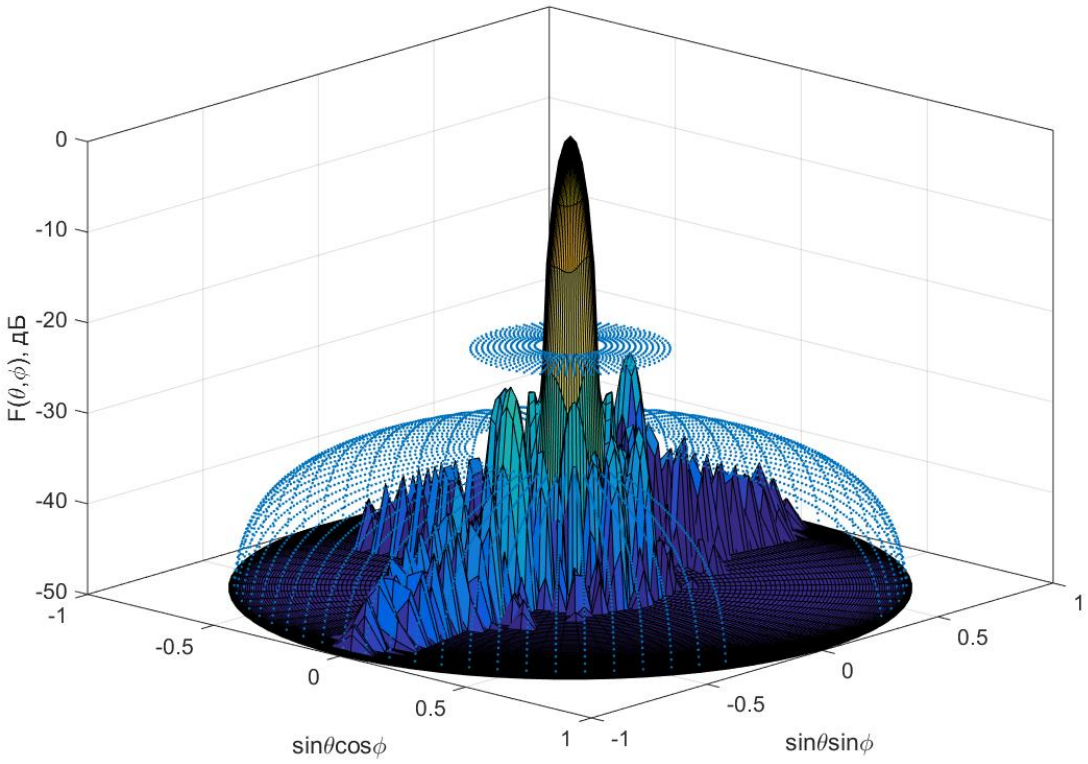

Рис. 6. Объемная ДН 32x32 элементной АР и заданная огибающая боковых лепестков.

На рис. 7 и 8 приведены полученные в результате решения задачи амплитудное и фазовое распределения.

Полученные результаты демонстрируют применимость предлагаемого метода к решению задач синтеза как линейных, так и плоских АР. В случае синтеза плоской АР время решения задачи существенно возрастает, что связано с необходимостью обращения матрицы $\mathbf{S}+\mathbf{I}$. Сокращение объема вычислительных затрат может быть достигнуто при формировании неотклоненной ДН с симметричной ОБЛ путем использования при синтезе либо половины, либо даже четверти раскрыва антенны. Кроме того, на основе предлагаемого метода можно предложить алгоритмы, в которых весовая

функция формируется быстрее, там, где превышение УБЛ над ОБЛ выше и медленнее в противном случае.

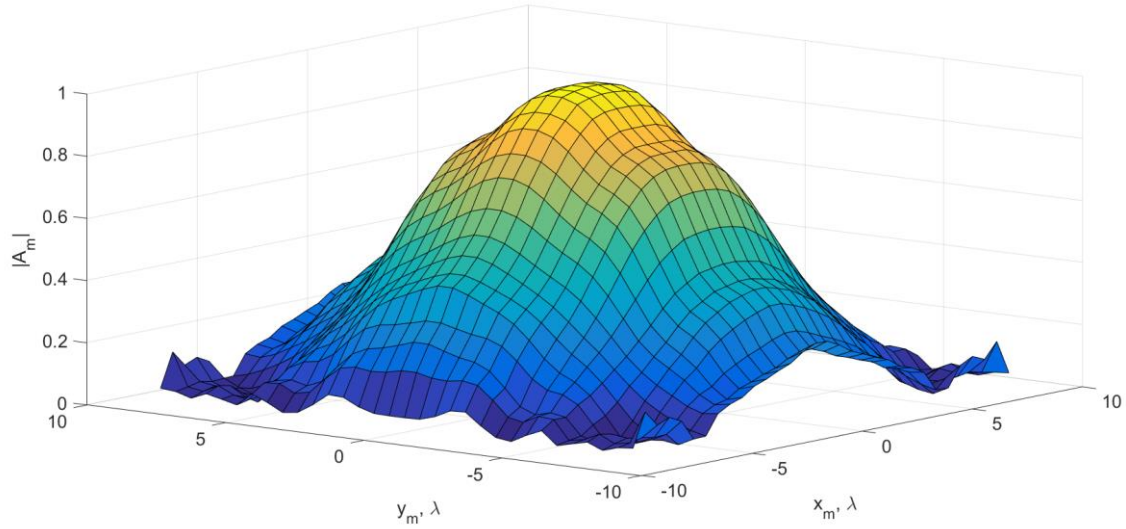

Рис. 7. Распределение амплитуд элементов АР, полученное в результате решения задачи синтеза.

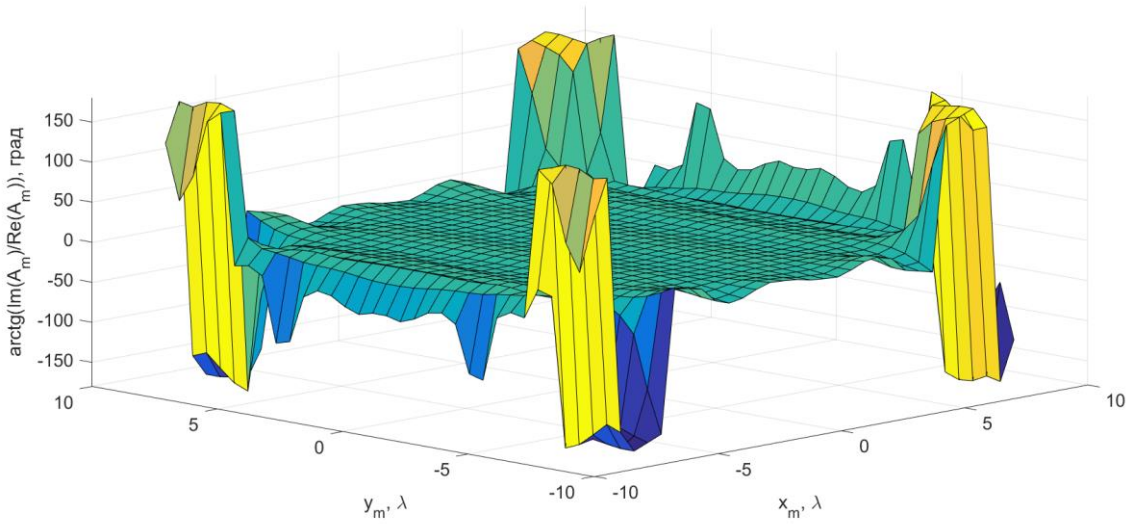

Рис. 8. Распределение фаз элементов АР, полученное в результате решения задачи синтеза.

5. Заключение

Предложен метод амплитудно-фазового синтеза антенной решетки при заданных ограничениях на огибающую боковых лепестков, основанный на применении аппарата матричного синтеза. Отличие метода состоит в

итерационной процедуре подбора весовой функции с учетом превышения уровня боковых лепестков над заданной ОБЛ.

Проведенные численные исследования подтвердили работоспособность метода. Для любой заданной весовой функции $\rho(\theta,\varphi)$ на основании теорем теории матриц метод позволяет определить комплексные амплитуды элементов АР, обеспечивающие максимальное значение ОСПШ. В связи с этим в ходе решения задачи синтеза необходимо найти такую весовую функцию, которая приводит к реализации требований к ОБЛ и не приведет к снижению КНД.

Литература

1. Зелкин Е.Г., Соколов В.Г. Методы синтеза антенн. Фазированные антенные решётки и антенны с непрерывным раскрывом. М.: Советское радио, 1980. – 296 с.: ил.

2. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем (теория и методы расчёта). М.: Советское радио, 1974. – 234 с.

3. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. Издательство: Физматлит. 2010 – 558с.

4. Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И., Цейтлин Н.М., Щеглов К.С. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Под ред. Н.М. Цейтлина. – М: Радио и связь, 1985

Для цитирования:
А. В. Литвинов, С. Е. Мищенко, С. А. Шелкоплясов. Метод амплитудно-фазового синтеза антенной решетки при заданных ограничениях на огибающую боковых лепестков. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 8. Режим доступа: http://jre.cplire.ru/jre/aug18/8/text.pdf
DOI 10.30898/1684-1719.2018.8.8