

УДК 621.391, 621.396.96

## УПРАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

**А.А. Спектор, А.А. Чеславлева***Новосибирский государственный технический университет*

В статье рассмотрен метод управления шириной главного лепестка диаграммы направленности антенной решетки за счет управления фазовым и амплитудным распределением на ее элементах. Актуальность исследования обоснована противоречивыми требованиями к антенной решетке для режимов приема и излучения. В режиме излучения важным параметром является время обзора пространства, которое можно сократить с помощью расширения луча. Рассматриваемый метод предлагает управление шириной луча на основе аналогии с управлением шириной спектра импульсного сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Фазовое распределение принимает вид квадратичной функции, а управление происходит с помощью параметра, эквивалентного базе ЛЧМ-сигнала. Предложен подход к определению данного параметра, а также управление амплитудным распределением для сглаживания неравномерности в области главного лепестка. Результаты расчетов демонстрируют сходство диаграммы направленности и спектра ЛЧМ-сигнала. Представлены результаты моделирования с использованием управления амплитудой функцией вида «косинус квадрат на пьедестале», которые демонстрируют снижение неравномерностей, свойственных спектру ЛЧМ-сигнала с прямоугольной огибающей. Оптимизирован поиск параметров управления. Метод демонстрирует возможность эффективного управления параметрами антенной решетки.

*Ключевые слова:* антенная решетка, диаграмма направленности, расширение луча, квадратичное управление фазой, ЛЧМ-сигнал.

DOI: 10.17212/1727-2769-2026-3-76-87

### Введение

В современных системах, использующих принцип импульсной локализации, всё более широкое применение находят антенные решетки (АР) благодаря управлению амплитудно-фазовым распределением (АФР) элементов, которое позволяет адаптировать характеристики АР к требованиям решаемых задач [1–3]. Управление АФР элементов антенной решетки позволяет реализовывать алгоритмы сканирования пространства, подавления помех и многолучевой обработки сигналов.

При проектировании систем с общей антенной возникают противоречивые требования к ширине диаграммы направленности антенны (ДНА) для режимов радиоизлучения и радиоприема. В режиме радиоприема необходимо иметь узкую диаграмму направленности, которая обеспечивает подавление помех и высокую разрешающую способность. Однако

в режиме радиоизлучения нередко возникает потребность облучить широкий сектор для уменьшения времени обзора пространства. Так возникает задача формирования на одной АР лучей разной ширины в различных режимах работы системы.

Существуют некоторые подходы к решению этой задачи [3–5]. Один из них, метод веерных парциальных диаграмм направленности (ВПДН), рассмотрен в [5, 6]. Данный метод основан на виртуальном представлении раскрыва антенны в виде парных подрешеток из двух соседних излучателей, которые, в свою очередь, образуют парциальные лучи, направлением которых можно управлять разностью фаз между излучателями. По приводимым в [5, 6] данным, ДНА в области главного лепестка имеет достаточно высокий уровень колебаний (до 2 дБ), что для некоторых случаев применения является неприемлемым, так как при этом возникают проблемы наблюдения объектов с различными угловыми координатами.

В данной работе для управления ДНА предлагается для управления коэффициентами передачи сигналов в элементах антенной решетки использовать аналогию со свойствами импульсного сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ).

Важной особенностью импульсного сигнала с ЛЧМ является близкая к прямоугольной форма его амплитудного спектра, ширина которого определяется девиацией частоты [7, 8].

## 1. Постановка задачи

Как известно, характеристики направленности антенной решетки связаны с распределением комплексных амплитуд на ее элементах преобразованием Фурье, как и сигналы с их спектрами. Импульсный сигнал с линейной частотной модуляцией характеризуется близким к прямоугольному амплитудным спектром [8], ширина которого практически совпадает с девиацией частоты. Управление девиацией частоты дает возможность управления шириной частотного спектра. Возникает идея обеспечить аналогичное управление параметрами сигнала на элементах антенной решетки, добиваясь равномерности ДНА в пределах требуемого углового диапазона. Целью данной публикации является исследование возможностей такого подхода.

## 2. Метод управления сигналами АР для расширения диаграммы направленности

Частоте импульсного сигнала длительности  $T_c$  с ЛЧМ  $\omega(t) = \omega_0 + \beta t$  соответствует квадратичное изменение фазы:

$$\Phi(t) = \omega_0 t + \beta t^2 / 2, \quad |t| \leq T_c / 2,$$

где  $\omega_0 = 2\pi f_0$  – несущая частота, а параметр  $\beta$ , связанный с девиацией частоты  $\omega_d = 2\pi f_d$  очевидным соотношением

$$\beta = 2\omega_d / T_c = 4\pi f_d / T_c,$$

имеет смысл скорости изменения частоты. Характер амплитудного спектра ЛЧМ-импульса

$$U(\omega - \omega_0) = \left| \int_{-T_c/2}^{T_c/2} e^{i(\beta t^2/2 - \omega t)} dt \right| \quad (1)$$

существенно зависит от базы сигнала  $b = 2f_d T_c$  и приближается к прямоугольной функции шириной  $2f_d$ , уровень колебаний которой снижается с ростом базы. Примеры амплитудного спектра  $U(f - f_0)$  при трех значениях базы показаны на рис. 1.

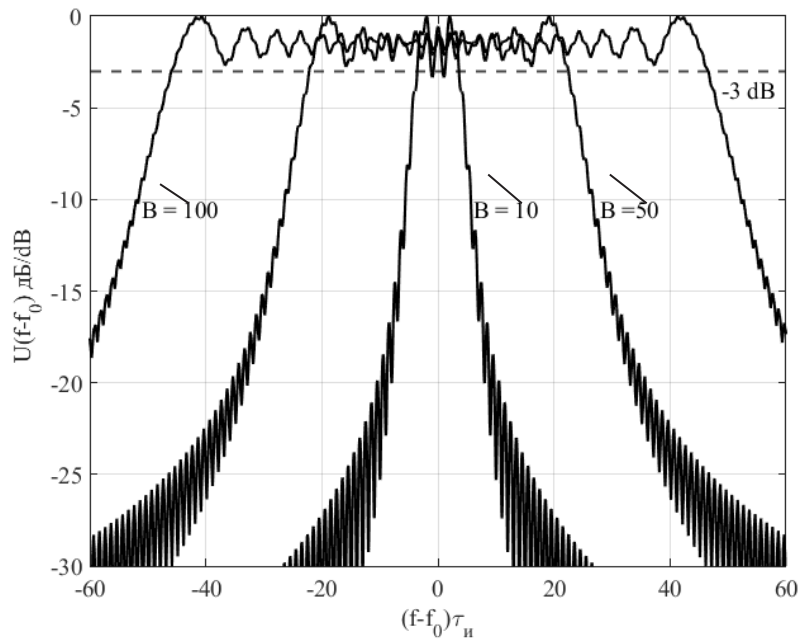


Рис. 1 – Амплитудный спектр ЛЧМ-сигнала при значении базы 10, 50 и 100, штриховая линия показывает уровень половинной мощности

Fig. 1 – The amplitude spectrum of the PCM signal at base values of 10, 50 and 100; the dashed line indicates the half-power level

Амплитудную диаграмму направленности эквидистантной линейной антенной решетки можно определить выражением

$$S_{AP}(\beta) = \left| \sum_{k=1}^K \dot{R}_k e^{-i\omega_0(k-1)d \sin \beta / c} \right| = \left| \sum_{k=1}^K \dot{R}_k e^{-i2\pi(k-1)d \sin \beta / \lambda} \right|. \quad (2)$$

Здесь угол  $\beta$  отсчитывается от нормали к оси  $y$ , на которой расположена  $K$  – элементная эквидистантная АР с расстояниями  $d$  между элементами;  $\lambda$  – длина волны. Комплексные коэффициенты управления  $\dot{R}_k = R_k e^{i\varphi_k}$  содержат амплитудные  $R_k$  и фазовые  $\varphi_k$  канальные параметры. Распо-

лагаая антенную решетку на оси  $y$  симметрично относительно начала координат при, например, четном значении  $K = 2L$ , выражение (2) представим в виде

$$S_{AP}(\beta) = \left| \sum_{k=1}^{2L} \dot{R}_k e^{-i2\pi \frac{\sin\beta}{\lambda} y_k} \right|, \quad (3)$$

где  $y_k$  – координата  $k$ -го элемента АР в симметризованной системе координат.

Следуя принятому принципу подобия линейной АР импульсу с ЛЧМ, заменим для анализа дискретную АР расположенным вдоль оси  $y$  ее непрерывным аналогом, имеющим длину

$$Y = Kd.$$

Управление континуальными элементами АР описывается комплексным коэффициентом передачи

$$\dot{R}(y) = R(y/\lambda) e^{i\varphi(y/\lambda)},$$

где  $R(y/\lambda)$  и  $\varphi(y/\lambda)$  – соответственно амплитудная и фазовая характеристики, аргумент которых  $y_H = y/\lambda$  нормирован относительно длины волны  $\lambda$ . Амплитудная характеристика направленности АР, по аналогии с выражением (3), определяется преобразованием:

$$S(\beta) = \left| \int_{-Ld}^{Ld} \dot{R}(y) e^{-i2\pi \frac{\sin\beta}{\lambda} y} dy \right|. \quad (4)$$

В выражении (4) множитель

$$\Omega = 2\pi \frac{\sin\beta}{\lambda}$$

описывает пространственную частоту колебаний  $\Omega$  сигнала на антенной решетке [2], зависящую от угла  $\beta$ .

Используем комплексную функцию управления сигналом следующего вида:

$$\dot{R}(y_H) = e^{iay_H^2/2}, \quad (5)$$

соответствующую равномерному управлению амплитудой  $R(y_H) = 1$  и квадратичному управлению фазой:

$$\varphi(y_H) = ay_H^2/2. \quad (6)$$

Частота колебаний пространственного сигнала на АР

$$\Omega(y_H) = d\varphi(y_H)/dy_H = a y_H$$

линейно изменяется вдоль антенны подобно изменению частоты импульсного сигнала с ЛЧМ. Девияция  $\Omega_d$  пространственной частотной модуляции определяется относительной длиной АР  $Y/\lambda$ :

$$\Omega_d = aY/2\lambda = aKd/2\lambda = aLd/\lambda. \quad (7)$$

При часто используемом значении шага АР  $d = \lambda/2$  из уравнения (7) находим

$$\Omega_d = aK/4 = aL/2. \quad (8)$$

База  $B$  пространственного сигнала находится по формуле

$$B = \frac{\Omega_d}{\pi} Y / \lambda = \frac{\Omega_d}{\pi} \frac{K}{2} = a \frac{K^2}{8\pi}.$$

В некоторых радиотехнических системах используются АР, в которых ширина сфокусированной ДНА составляет единицы градусов или десятки угловых минут, что применяется в режимах радиоприема. При этом желаемые значения ширины ДНА для режима излучения могут составлять  $10...20^\circ$ . При таких значениях углов справедлива аппроксимация  $\sin \beta \approx \beta$ , и выражение (4) с учетом формулы (5) примет вид

$$S(\beta) = \lambda \left| \int_{-Ld/\lambda}^{Ld/\lambda} e^{i(ay_n^2/2 - 2\pi\beta y_n)} dy_n \right|, \quad (9)$$

где используется введенная выше нормированная координата  $y_n = y/\lambda$ . Выражение (9) по форме совпадает с уравнением (1), что можно рассматривать как основу для получения характеристик направленности АР, подобных спектральным характеристикам импульса с ЛЧМ.

В области главного луча ДНА, как и в спектре ЛЧМ-импульса, наблюдаются колебания значительного уровня, что приводит к неравномерности пространственного облучения и является нежелательным. Для ослабления этого эффекта далее воспользуемся часто применяемым амплитудным распределением «косинус квадрат на пьедестале», имеющим при  $d = \lambda/2$  вид

$$R(y_n) = A_0 + (1 - A_0) \cos^2 \left( \frac{\pi y_n}{L} \right). \quad (10)$$

Распределение (10) позволяет уменьшать уровень боковых лепестков (УБЛ) и сглаживает неравномерность главного лепестка, что достигается вариацией пьедестала  $A_0$ .

### 3. Результаты расчетов

Расчеты диаграммы направленности проводились на основе выражения (3) при  $d = \lambda/2$  и числе элементов АР  $K = 70$ . Использовались два варианта управления амплитудами: равномерное  $R_k = 1, k = \overline{-L, L}$  и вида «косинус квадрат на пьедестале» [выражение (10)]. Управление фазой

осуществлялось в соответствии с формулой (6). Нормированные координаты  $y_{nk}$  элементов АР в выражениях (6) и (10) применительно к варианту четного числа  $K = 2L$  вычислялись по формуле

$$y_{nk} = \frac{y_k}{\lambda} = \frac{1}{2} \left( -L + k - \frac{1}{2} \right), \quad k = \overline{1, 2L},$$

где учтено симметричное расположение антенных элементов относительно начала координат.

На рис. 2 показана диаграмма направленности сфокусированной АР ( $R_k = 1$ ,  $\varphi_k = 0$ ). Штриховая линия на уровне  $-3$  дБ определяет ширину главного лепестка  $\beta_M = 1,4^\circ$ .

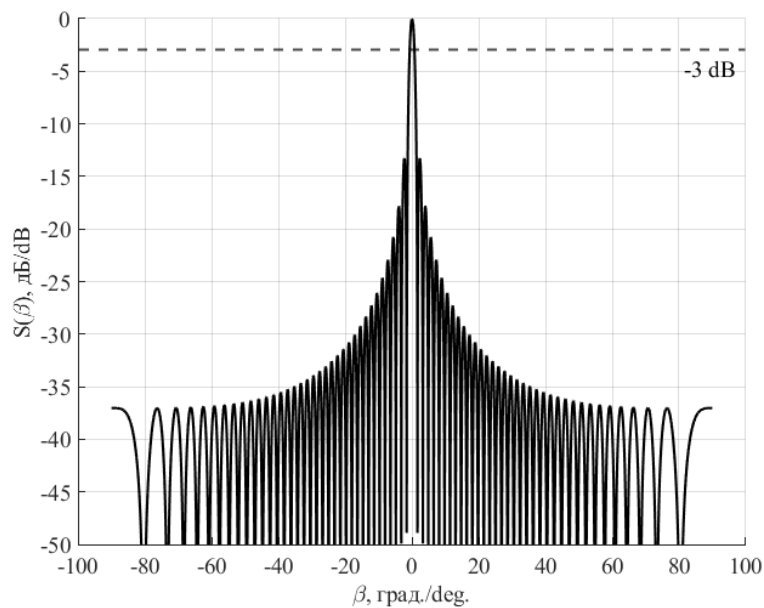


Рис. 2 – Диаграмма направленности сфокусированной АР

Fig. 2 – The radiation pattern of a focused antenna array

На рис. 3 проиллюстрированы результаты расчета ДНА при применении квадратичного управления фазой вида уравнения (6) при  $a = 5,12 \cdot 10^{-2}$ . Прямоугольная линия в центре рисунка показывает идеальный вид расширенной ДНА. Ширина главного луча ДНА в этом примере составляет  $\beta_M = 12,24^\circ$ . Наряду с расширением ДНА наблюдаются сильные колебания внутри главного лепестка, фактически расщепляющие его на несколько составляющих.

В табл. 1 приведены значения основных параметров ДНА при управлении фазами в зависимости от параметра  $a$ . Его увеличение приводит к монотонному расширению главного луча и некоторому росту уровня боковых лепестков. Во всех случаях неравномерность в области главного лепестка является высокой.

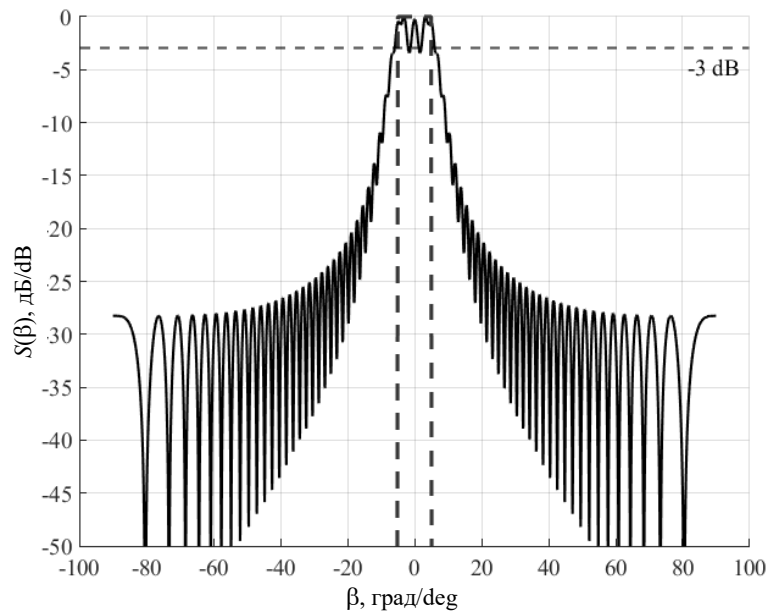


Рис. 3 – Диаграмма направленности АР при квадратичном управлении фазой,  $\beta_m = 12,24^\circ$

Fig. 3 – Radiation pattern of an antenna array with quadratic phase control,  $\beta_m = 12,24^\circ$

Таблица 1 / Table 1

**Зависимость характеристик диаграммы направленности от параметра  $a$**   
**The dependence of the characteristics of the radiation pattern on the parameter  $a$**

| $a$                   | Ширина / Width, $\beta_m^\circ$ | Неравномерность / Unevenness, дБ | УБЛ / SLL, дБ |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------|
| $2,56 \cdot 10^{-2}$  | 5,16                            | -0,99                            | -35           |
| $4,10 \cdot 10^{-2}$  | 10,32                           | -2,82                            | -33           |
| $6,66 \cdot 10^{-2}$  | 17,64                           | -2,87                            | -31           |
| $8,20 \cdot 10^{-2}$  | 21,36                           | -2,78                            | -29           |
| $10,25 \cdot 10^{-2}$ | 27,84                           | -3,25                            | -28           |
| $11,79 \cdot 10^{-2}$ | 33,48                           | -3,04                            | -27           |
| $13,33 \cdot 10^{-2}$ | 37,68                           | -2,89                            | -26,7         |
| $15,38 \cdot 10^{-2}$ | 44,52                           | -2,90                            | -26           |

Штриховая линия на рис. 4 иллюстрирует влияние совместного управления фазой и амплитудой (параметры управления  $a = 5,12 \cdot 10^{-2}$ ,  $A_0 = 0,5$ ). Непрерывная линия соответствует отсутствию амплитудного управления ( $A_0 = 1$ ). Глубина провала ДНА в области главного лепестка от значения -3,43 дБ при отсутствии амплитудного управления уменьши-

лась до уровня  $-1,86$  дБ при его наличии. При этом использование совместного амплитудно-фазового управления приводит к небольшому уменьшению ширины главного лепестка – от  $12,24$  до  $9,72^\circ$ .

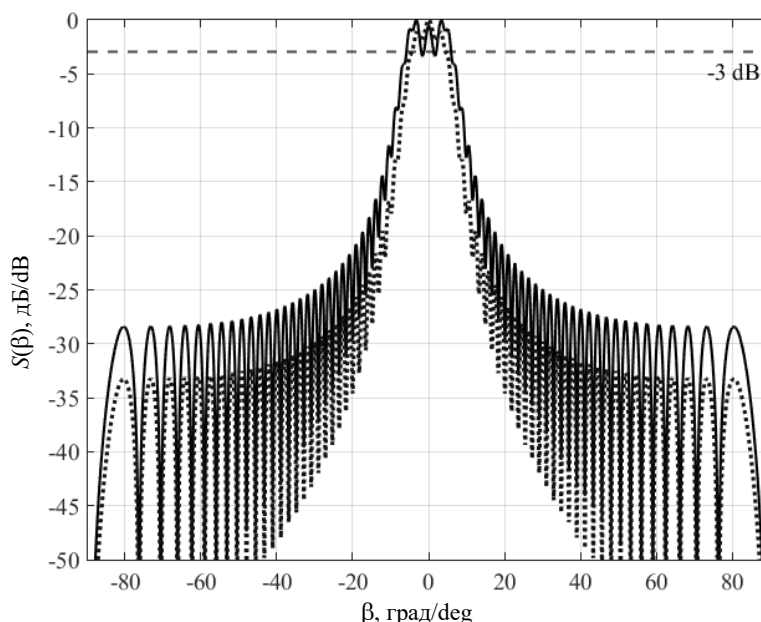


Рис. 4 – Сравнение диаграмм направленности АР без амплитудного (сплошная линия) и с амплитудным (пунктирная линия) управлением при  $A_0 = 0,5$

Fig. 4 – Comparison of the radiation patterns of an antenna array without amplitude control (solid line), and with amplitude control (dotted line) at  $A_0 = 0,5$

В табл. 2 приводятся данные о влиянии параметра  $A_0$  на основные параметры ДНА при  $a = 5,12 \cdot 10^{-2}$ .

Таблица 2 / Table 2

**Зависимость характеристик диаграммы направленности от значений пьедестала амплитудного распределения**

**Dependence of radiation pattern characteristics on the values of the amplitude distribution pedestal**

| $A_0$ | Ширина / Width, $\beta, ^\circ$ | Неравномерность / Unevenness, дБ | УБЛ / SLL, дБ |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|---------------|
| 1,0   | 12,24                           | 3,43                             | -28           |
| 0,8   | 11,52                           | 2,47                             | -30           |
| 0,6   | 10,68                           | 2,13                             | -32           |
| 0,4   | 8,40                            | 1,98                             | -35           |

Использование квадратичного фазового управления совместно с управлением амплитудами дает перспективы для получения различных

форм ДН. Необходимость учета различных характеристик ДНА (ширина главного лепестка, неравномерность в его области, уровень боковых лепестков) приводит к отысканию параметров управления по комплексному критерию оптимальности, учитывающему роль этих характеристик. Применялся метод многокритериальной взвешенной оптимизации (метод взвешенной суммы критериев) [8]. В качестве локальных характеристик использовались следующие составляющие интегрального критерия:

- среднее на участке желаемого главного лепестка значение модуля разности, синтезируемой и идеальной (прямоугольной) функции ДНА (весовой коэффициент 1,0);
- модуль разности ширины синтезируемой и идеальной ДНА (весовой коэффициент 0,5);
- модуль разности максимального бокового лепестка и желаемого значения  $-50$  дБ в диапазоне углов (весовой коэффициент 0,3);
- сумма среднеквадратичного отклонения синтезируемой ДНА в области реального главного лепестка (точки ДН на уровне  $-3$  дБ) от желаемого «плоского» уровня  $0$  дБ (1 в линейном масштабе) и суммы глубин провалов, т. е. точки, которые меньше обеих соседних (весовой коэффициент 0,2).

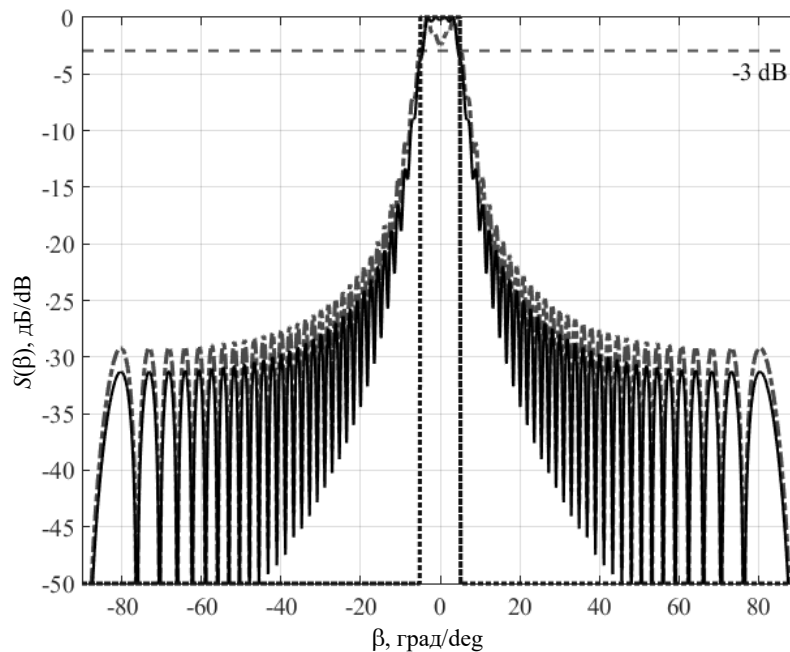


Рис. 5 – Влияние оптимизации параметров управления на диаграмму направленности АР

Fig. 5. The effect of optimizing control parameters on the directional pattern of an antenna array

На рис. 5 непрерывной линией показан результирующий вид синтезированной диаграммы направленности АР при требуемом значении ширины главного лепестка  $\beta_m = 10^\circ$ . Оптимальные значения параметров состава

вили  $a = 4,38 \cdot 10^{-2}$ ,  $A_0 = 0,62$ . Штриховая кривая на этом рисунке соответствует использованию только фазового управления. Очевидна эффективность применения совместного фазового и амплитудного управления в каналах передачи сигналов АР.

### Заключение

Предложен метод расширения главного луча ДНА антенной решетки для ее комбинированного применения в различных режимах работы радиотехнической системы, основанный на использовании импульсного сигнала с ЛЧМ в качестве прототипа. Совместное управление фазой в виде квадратичного изменения и амплитудой в виде окна «косинус квадрат на пьедестале», а также оптимизация по комплексному критерию позволяют добиться приемлемых для практического использования характеристик расширенной диаграммы направленности при различных требованиях к ДНА путем вариации весовых коэффициентов критерия оптимальности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации. Т. 2 / под ред. М.И. Сколника; пер. с англ. под общ. ред. К.Н. Трофимова. – М.: Советское радио, 1977. – 408 с.
2. Пространственно-временная обработка широкополосных сигналов в радиолокационных системах с адаптивными цифровыми антенными решетками: монография / В.Н. Васюков, И.Ф. Лозовский, Ю.В. Морозов, А.А. Мурасев, Д.Н. Мухранова, И.А. Пшеничников, М.А. Райфельд, Д.О. Соколова, А.А. Спектор. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 240 с – (Монографии НГТУ). – ISBN 978-5-7782-4743-3.
3. **Инденбом М.В.** Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. – М.: Радиотехника, 2015. – 416 с.
4. **Бенсон К.** Управление фазированными антенными решетками с помощью инновационных микросхем / пер. М. Русских // СВЧ-электроника. – 2020. – № 1. – С. 54–58.
5. Метод формирования и масштабирования расширенных лучей фазированной антенной решетки / А.Н. Грибанов, С.Е. Гаврилова, О.В. Павлович, Г.Ф. Мосейчук, А.Н. Титов // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2019. – № 3. – С. 19–29.
6. Обобщенная формула фазового распределения секторных лучей ФАР / А.Н. Грибанов, А.Н. Титов, Г.Ф. Мосейчук, С.Е. Гаврилова // II Всероссийская Микроволновая конференция. – М., 2014. – С. 363–367.
7. **Баскаков С.И.** Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.
8. **Гоноровский И.С.** Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
9. Multiobjective optimization / J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Słowiński. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. – 470 p.

## CONTROL OF ANTENNA ARRAY DIRECTIVITY CHARACTERISTICS

Spector A.A., Cheslavleva A.A.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

This paper examines a method for controlling the width of the main lobe of an antenna array radiation pattern by adjusting the phase and amplitude distribution across its elements. The relevance of this research stems from the conflicting requirements placed on the antenna array for reception and transmission modes. In the transmission mode, an important parameter is the time taken to scan the space, which can be reduced by beam widening. The method under consideration proposes controlling the beam width based on an analogy with the control of the spectral width of a linearly frequency-modulated pulse signal. The phase distribution takes the form of a quadratic function, and control is achieved using a parameter equivalent to the LFM signal basis. An approach to determining this parameter is provided, and amplitude distribution control is also proposed to smooth out irregularities in the main lobe region. The calculation results demonstrate the similarity between the radiation pattern and the spectrum of the LFM signal. Simulation results are presented using amplitude control by a ‘cosine-squared on a pedestal’ function, which demonstrate a reduction in the non-uniformities characteristic of the spectrum of an LFM signal with a rectangular envelope. The search for control parameters has been optimized. The method demonstrates the possibility of effective control of the antenna array parameters.

**Keywords:** antenna array, radiation pattern, beam widening, quadratic phase control, LFM signal.

DOI: 10.17212/1727-2769-2026-3-76-87

## REFERENCES

1. Skolnik M.I., ed. *Spravochnik po radiolokatsii*. T. 2 [Radar handbook. Vol. 2]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1977. 408 p.
2. Vasyukov V.N., Lozovsky I.F., Morozov Y.V., Murasev A.A., Mukhranova D.N., Pshenichnikov I.A., Rajfeld M.A., Sokolova D.O., Spector A.A. *Prostranstvenno-vremennaya obrabotka shirokopolosnykh signalov v radiolokatsionnykh sistemakh s adaptivnymi tsifrovymi antennymi reshetkami* [Space-time processing of wideband signals in radar systems with adaptive digital antenna arrays]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2022. 240 p. ISBN 978-5-7782-4743-3.
3. Indenbom M.V. *Antennye reshetki podvizhnykh obzornykh RLS* [Antenna arrays of mobile surveillance radars]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2015. 416 p.
4. Benson K. Upravlenie fazirovannymi antennymi reshetkami s pomoshch'yu innovatsionnykh mikroskhem [Phased array beamforming ICs simplify antenna design]. *SVCh-elektronika*, 2020, no. 1, pp. 54–58. (In Russian).
5. Gribanov A.N., Gavrilova S.E., Pavlovich O.V., Moseychuk G.F., Titov A.N. Metod formirovaniya i masshtabirovaniya rasshirennykh luchej fazirovannoi antennoi reshetki [Method of forming and scaling phased array expanded beams]. *Vestnik Kontserna VKO «Almaz – Antei» = Journal of “Almaz – Antey” Air and Space Defence Corporation*, 2019, no. 3, pp. 19–29.
6. Gribanov A.N., Titov A.N., Moseychuk G.F., Gavrilova S.E. [Generalized formula for the phase distribution of sector beams in a phased antenna array]. *II Vserossiiskaya Mikrovolnovaya konferentsiya* [II All-Russian microwave conference], Moscow, 2014, pp. 363–367. (In Russian).

7. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly [Radio engineering circuits and signals]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 462 p.
8. Gonorovskii I.S. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly [Radio engineering circuits and signals]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1986. 512 p.
9. Branke J., Deb K., Miettinen K., Słowiński R. *Multiobjective optimization*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2008. 470 p.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Спектор Александр Аншелевич** – родился в 1946 году, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: статистические технологии цифровой обработки сигналов в технических системах. Опубликовано более 200 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, E-mail: spectoraa@mail.ru).

**Spector Aleksandr Anshelevich** (b. 1946), Doctor of Sciences (Eng.), professor, professor at the department of radio engineering fundamentals in the Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on statistical techniques for digital signal processing in technical systems. He is the author more 200 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. Email: spectoraa@mail.ru).

**Чеславлева Алена Андреевна** – родилась в 2002 году, магистрант кафедры теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: статистические технологии цифровой обработки сигналов в технических системах. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Email: lilya\_london@mail.ru).

**Cheslavleva Alena Andreevna** (b. 2002), undergraduate student at the department of theoretical foundations of radio engineering fundamentals in the Novosibirsk State Technical University. Her research interests are currently focused on statistical techniques for digital signal processing in technical systems. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: lilya\_london@mail.ru).

Статья поступила 13 мая 2026  
Received February/May 13, 2026

## To Reference:

Spector A.A., Cheslavleva A.A. Upravlenie kharakteristikami napravlenosti antennoi reshetki [Control of antenna array directivity characteristics]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*, 2026, no. 3 (72), pp. 76–87. DOI: 10.17212/1727-2769-2026-3-76-87.