

#### Список использованных источников

1. Дудник П. И., Ильчук А. Р., Татарский Б. Г. Многофункциональные радиолокационные системы. М.: Дрофа, 2007. – 283 с.
  2. Honghui Yan, Yanfei Wang, Hui Yu, Bingchen Zhang. Analysis of Geometry Resolution Characteristics of Formation flying Satellites Bistatic SAR //Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences. 2004. Pp.1-4.
- Воронцова Светлана Анатольевна, инженер каф. КТЭСиУ, cbeta116@mail.ru.

УДК 621.396.663

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ ДЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ**

И.В. Пешков, В.А. Жигулин

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец

**Ключевые слова:** цифровая пеленгация, антенные решётки, алгоритм MUSIC, псевдоспектр.

Данная работа посвящена моделированию алгоритмов цифровой пеленгации с учётом особенностей кольцевых антенных решёток (АР).

В ходе работы было выполнено следующее:

- Составлены цифровые модели для расчётов по алгоритмам Барлетта, Кейпона и MUSIC.
- Проведено моделирование кольцевой антенной решётки.
- Проведено дополнение алгоритмов таким образом, чтобы в них учитывались параметры кольцевой антенной решётки.
- Получены графики псевдоспектров и проведено их сравнение.

Представим краткие теоретические сведения касательно кольцевых АР. На рисунке 1 показана кольцевая решётка радиусом  $r$ , состоящая из  $N$  изотропных элементов единичного усиления.

Для кольцевой АР  $n$ -я компонента направляющего вектора  $\bar{\mathbf{a}}(\phi, \theta)$ , описывающего распределение фаз сигнала, падающего на АР из направлений  $\theta$  – в азимутальной и  $\phi$  – в вертикальной плоскостях в данной системе координат, записывается в виде [1]:

$$a_n^{circ}(\phi_m, \theta_m) = \exp\left\{j\left[-k_m r \cos(\theta_m - \frac{2\pi n}{N}) \sin(\phi_m)\right]\right\}, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус АР,  $n = 1 \dots N$ ,  $k_m = 2\pi/\lambda_m$ ,

$\lambda_m$  – длина волны  $m$ -го сигнала.

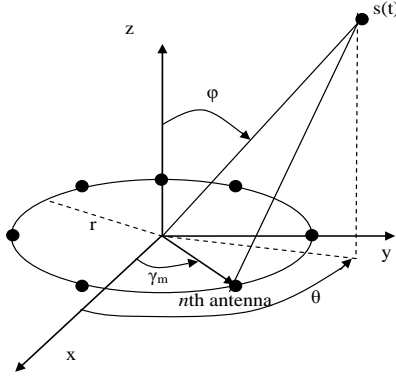


Рисунок 1 – Схематическое изображение кольцевой AP

В общем виде направляющий вектор  $\vec{\mathbf{a}}$  выглядит как:

$$\mathbf{a}(\theta, \varphi) = \begin{bmatrix} g_0(\theta) e^{j r \frac{2\pi}{\lambda} \cos \theta \sin \varphi} \\ g_1\left(\theta - \frac{2\pi}{N}\right) e^{j r \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{N}\right) \sin \varphi} \\ g_2\left(\theta - 2 \frac{2\pi}{N}\right) e^{j r \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\theta - 2 \frac{2\pi}{N}\right) \sin \varphi} \\ \dots \\ g_{N-1}\left(\theta - (N-1) \frac{2\pi}{N}\right) e^{j r \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\theta - (N-1) \frac{2\pi}{N}\right) \sin \varphi} \end{bmatrix} \quad (2)$$

где  $g_0(\theta), g_1(\theta), \dots, g_{N-1}(\theta)$  – действительные числа, представляющие амплитуду отклика антенного элемента (т.е. усиление антенны) в направлении  $\theta$ . Для данной работы принято следующее: пусть антенные элементы в составе кольцевой AP идентичны и имеют максимум в направлении радиально от центра решётки,  $g\left(\theta - \frac{2\pi n}{N}\right), n=0,1,\dots,N-1$ .

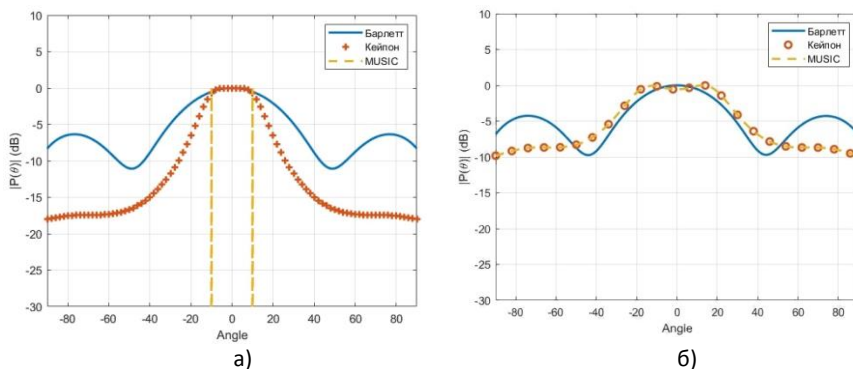
В данной работе рассматриваются алгоритмы оценки угловых координат радиосигналов для цифровых антенных решёток. А именно алгоритмы Барлетта, Кейпона и MUSIC, описанные в работе [2]. Были составлены цифровые модели данных алгоритмов для среды MATLAB. Алгоритмы были модифицированы для кольцевых AP согласно формулам, представленным выше. Кроме того, в моделях учитываются диаграммы направленности и взаимное влияние элементов.

Далее было проведено сравнение результатов моделирования. Для всех вариантов алгоритмов были приняты следующие общие условия:

- Пеленгация осуществляется по азимуту в пределах от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ , при значении угла места равном  $0^\circ$ .

- На антенную решётку поступает два несвязанных между собой сигнала с углами места  $0^\circ$  и азимутами  $+10^\circ$  и  $-10^\circ$ .
- Мощность шума  $\sigma_2=0,1$ .
- Элементы антенной решётки – полуволновые диполи.
- Количество элементов решётки  $N = 6$ .
- Частота принимаемого сигнала – 5 ГГц.

В целях сравнения моделирование проводилось как с учётом взаимного влияния антенных элементов, так и без учёта. На рисунке 2 представлены результаты моделирования. Изучим полученные данные. Каждому из двух поступающих сигналов на графиках соответствуют два максимума с мощностью 0дБ на координатах по оси Y  $-10^\circ$  и  $+10^\circ$  соответственно.



а) без учёта взаимного влияния элементов решётки, б) с учётом взаимного влияния  
Рисунок 2 –Графики псевдоспектра для кольцевых АР

Из рисунке 2,а видно, что исследуемые методы обладают разной разрешающей способностью. Так, разница между максимумами для метода Барлетта не различима. Наибольшей разрешающей способностью обладают метод MUSIC. Однако, на графике рисунке 2,б максимумов для углов  $-10^\circ$  и  $+10^\circ$  не видно совсем. Это вызвано искажениями, вносимыми взаимным влиянием элементов АР и сложной формой самой решётки.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-21-00125, <https://rscf.ru/project/23-21-00125/>.

#### Список использованных источников

1. Оценка вероятности появления ложных пиков кольцевых и концентрических антенных решеток при радиопеленгации со сверхразрешением / Ю. Б. Нечаев, И. В. Пешков, Ю. О. Аальмуттар Атхеер, К. Д. Аль Хафаджи Сармад // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 16-23.

2. Frank B. Gross Smart Antennas for Wireless Communications: With MATLAB / Frank B. Gross - New York: McGraw-Hill Professional, 2005. — 288 p.

Пешков Илья Владимирович, к. ф.-м. н., доцент, ilvpeshko@gmail.com.

Жигулин Владимир Александрович, магистрант, ЕГУ им. И.А. Бунина, obi4n@yandex.ru.

УДК 620.179.18

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОВОЛНОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛА РОТОРА ТУРБОАГРЕГАТА**

А.А. Грецов, У.В. Бояркина, В.С. Федорова, А.О. Елизаров  
«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королёва», г. Самара

Одной из важных задач диагностики технического состояния турбоагрегата является контроль параметров крутильных колебаний вала ротора. Перспективным направлением решения данной задачи является использование радиоволновых преобразователей [1] в совокупности с отражателями специальной формы, нанесенными на контролируемую поверхность. Применение таких отражателей позволяет повысить информативность сигнала на выходе радиоволнового преобразователя.

Для определения параметров крутильных колебаний вала в корпусе турбоагрегата устанавливается радиоволновый преобразователь, радиально к поверхности вала, на которой формируются цилиндрические метки. При взаимодействии меток с радиоволновым преобразователем величина напряжения на его выходе изменяется пропорционально расстоянию от приемно-передающего элемента до поверхности метки. По сравнению с меткой на основе отражателя с плоской поверхностью, поверхность метки цилиндрической формы имеет большую диаграмму рассеивания отраженного излучения, что позволяет зарегистрировать несколько периодов информационного сигнала.

Для уменьшения уровня препарирования корпуса турбоагрегата применяются радиоволновые преобразователи в автодинном исполнении, совмещающие в себе одновременно функции передатчика, приемника отраженного от метки излучения и преобразователя полезного сигнала [2]. Выходной сигнал автодинного преобразователя описывается выражением:

$$U(t) = U_M \cos\left(\frac{4\pi l(t)}{\lambda}\right), \quad (1)$$

где  $U_M$  – амплитуда автодинного сигнала;  $l(t)$  – расстояние между контролируемой поверхностью и приемно-передающим элементом