

УДК 621.396.96

И.В. БАРЫШЕВ<sup>1</sup>, Н.Н. ГОРОБЕЦ<sup>2</sup>, Н.И. МАТЮХИН<sup>2</sup>, О.А. ГОРБУНЕНКО<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина*<sup>2</sup> *Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина*

### БОРТОВАЯ КООПЕРАТИВНАЯ МНОГОПОЗИЦИОННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-КОГЕРЕНТНАЯ (РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ) ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Рассматриваются принципиальные возможности создания перспективной многопозиционной когерентной системы, в которой отдельные позиции или антенные модули расположены на летательных аппаратах (самолет, вертолет, ИСЗ), когерентно объединены и входят в состав общей крупноапертурной (КА) антенны. Положение в пространстве каждого антенного модуля должно быть определено с точностью до  $1/6$  длины волны с помощью спутниковой или местной (кустовой) навигационной системы. Стремление уменьшить число антенных позиций (до 4–7) входит в противоречие с требованием недопущения высокого уровня боковых лепестков диаграммы направленности КА антенны. Помимо прямого уменьшения числа летательных аппаратов предлагается вводить дополнительные модули на каждом летательном аппарате и формировать радиоголограммы, синтезированные на апертуре общей антенны. Получены формулы для расчета диаграммы направленности общей антенны с учетом предлагаемых способов снижения уровня боковых лепестков. Анализируются результаты моделирования и даются рекомендации по построению информационной системы.

**информационная система, бортовая, радиоголографическая, многопозиционная, когерентная, синтезированная радиоголограмма, радиоизображение, кольцевая антенна**

#### Введение

Современные самолеты как объекты радиолокационного наблюдения способны переходить на некоторое время из динамических в *статические* («зависать» в пространстве) и после этого изменять траекторию своего движения (сверхманевренные ЛА (СМЛА)). Это приводит к необходимости построения бортовых радиоголографических систем, которые должны в каждом периоде локации точно измерять пространственные координаты наблюдаемого объекта. Кроме того, становится все более актуальной потребность в получении радиоголографического изображения удаленных летательных аппаратов (ЛА) для их последующей идентификации. С другой стороны, в ситуациях, когда в полете в составе группы может находиться несколько летательных аппаратов (4 – 7 и более), имеется принципиальная возможность создать *кооперативную* многопозиционную когерентную радиолокационную

систему, способную качественно наблюдать другие удаленные ЛА – точно измерять их пространственные координаты и получать голографическое изображение с разрешением порядка долей их размеров. В такой когерентной системе на каждом ЛА может находиться один или несколько антенных модулей. Антенные модули ЛА, входящие в состав рассматриваемой группы, когерентно объединяются (с точностью до  $1/6$  длины волны [1]) и составляют общую КА антенну. В статье рассматриваются *три случая* формирования диаграммы направленности КА антенны: 1) на каждом ЛА располагается один антенный модуль; 2) на каждом ЛА располагается линейка и матрица модулей; 3) для первого и второго случая формируется радиоголограмма, *синтезированная* на апертуре общей антенны путем проведения сеансов многократного наблюдения (облучение объекта, прием рассеянного поля (регистрация радиоголограммы), восстановление изображения или расчет диаграммы направленности антенны).

Целью настоящей работы является исследование возможности создания бортовой кооперативной радиологической информационной системы, у которой единая КА антенная система состоит из элементов, расположенных на отдельных летательных аппаратах, входящих в состав рассматриваемой группы.

### Принципы построения системы. Диаграмма направленности общей антенны

На каждом ЛА располагается по одному антенному модулю. Ширину главного лепестка диаграммы направленности антенны определяет местоположение ее элементов, их удаление от центра. Поэтому при ограниченном числе элементов в антенне целесообразно их располагать по окружности. Пусть  $N$  – число элементов, расположенных на окружности ( $N=4-7$ ), а ее радиус равен половине размера апертуры ( $L=400-800$  м).

Координаты каждого антенного элемента определяются выражением:

$$(\mu, \nu) = (L/2)(\cos 2\pi n/N, \sin 2\pi n/N), \quad n = 0 \div N-1.$$

На каждом ЛА располагается линейка и матрица антенных модулей. Линейка из антенных модулей с общим числом  $i_{\max} = I$  располагается на ребрах крыльев самолета ( $i = 2 \div I, \quad I = 4 \div 7$ ), а матрица модулей размерностью  $k \times m$  ( $k = 2 \div K; \quad m = 2 \div M; \quad K, M = 5$ ) располагается в носовой части самолета.

**Формирование радиолограммы, синтезированной на кольцевой апертуре.** Распределения полей в плоскости радиолограммы, полученные в каждом сеансе наблюдения, когерентно объединяются с точностью до  $1/6$  длины волны. Сеансы наблюдения проводятся при условии, что нормаль КА антенны при движении направлена на объект наблюдения. Перед каждым сеансом наблюдения дальности до наблюдаемого объекта изменяется на

величину  $\Delta R$ . Дальность до наблюдаемого объекта в текущем сеансе наблюдения определяется выражением  $R(h) = R_0 - \Delta R h, \quad h = 1 \div H, \quad H = 100$ . Линейное пространственное разрешение по угловым координатам при этом определяется формулой  $\delta \ell = \lambda(R_0 - \Delta R h)/L$ , где  $\lambda$  – длина волны,  $L$  – размер КА антенны.

**Формула для расчета диаграммы направленности общей антенны.** Рассмотрим систему координат, принятую в радиолографии (рис. 1) [2]. Пусть  $(x, 0_1, y), (\mu, 0_2, \nu), (\xi, 0_3, \eta)$  – плоскости расположения объектов наблюдения, антенных модулей и точек восстановленного изображения объекта,  $R_0$  и  $r_0$  – расстояния между этими плоскостями соответственно;  $p$  – число наблюдаемых объектов,  $x(p), y(p)$  – их координаты;  $\Delta\mu_1(i), \Delta\mu_2(k), \Delta\nu(m)$  – координаты дополнительных антенных модулей;  $A_n$  – амплитуда отраженного сигнала на входе  $n$ -го антенного модуля. Тогда диаграмма направленности КА антенны для рассмотренных случаев расположения антенных модулей и формирования радиолограммы определяются выражением:

$$|U(\xi, \eta)| = \left| \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^{N-1} A_n \exp(j \frac{2\pi n}{\lambda} \times \right. \\ \left. \times ((R^2(h) + (\mu(n) + \Delta\mu_1(i) + \Delta\mu_2(k) - \right. \\ \left. - x(h))^2 + (\nu(n) + \Delta\nu(m) - y(p))^2)^{-\frac{1}{2}} - \right. \\ \left. - (r_0^2 + (\mu(n) + \Delta\mu_1(i) + \Delta\mu_2(k) - \xi)^2 + \right. \\ \left. + (\nu(n) + \Delta\nu(m) - \eta)^2)^{-\frac{1}{2}}) \right|.$$

### Результаты моделирования и их анализ.

**$N = 4$ .** Наблюдение возможно только при синтезировании радиолограммы ( $H = 100$  м,  $\Delta R(h) = 50$  м,  $L = 400$  м,  $R_0 = r_0 = 4 \cdot 10^4$  м). Платой за адаптацию к внешней среде является потеря дальности на  $5 \cdot 10^3$  м.

**$N = 5$ .** Наблюдение возможно в трех случаях (расположение по одному модулю, расположение

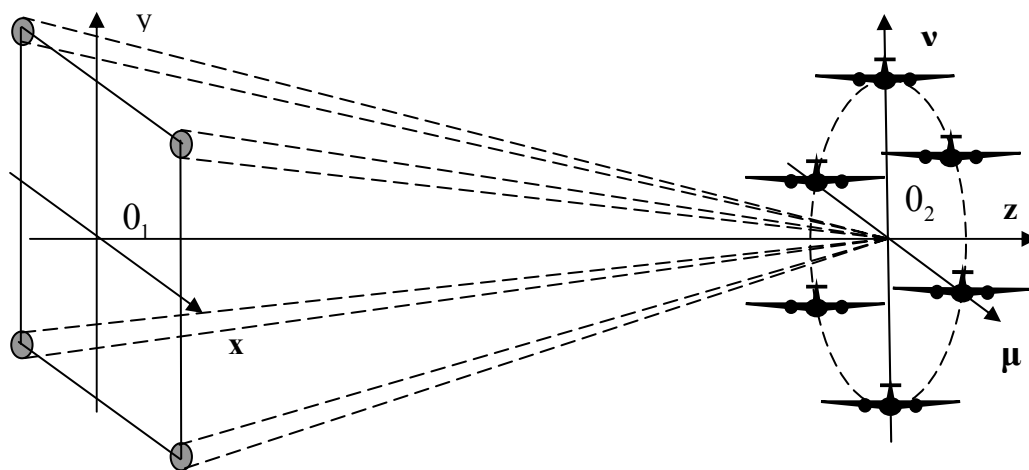


Рис. 1. Бортовая кооперативная радиолографическая информационная система

дополнительных модулей, синтезирование радиолограммы), однако уровень боковых лепестков остается высоким (0,8).

$N = 6$ . Наблюдение возможно только при синтезировании радиолограммы.

$N = 7$ . Наблюдение возможно в трех случаях ( $H = 100$  м,  $\Delta R(h) = 50$  м,  $L = 800$  м,  $R_0 = r_0 = 4 \cdot 10^4$  м) (рис. 2, а). При этом существует область «пустого окружения» главного лепестка диаграммы направленности (рис. 2, б). Это позволяет выделить главный лепесток (методом «вложенных диаграмм направленности») [1] и ввести в обработку реально не существующие модули и еще более понизить уровень боковых лепестков (метод «математических модулей») [1].

### Заключение

1. Имеется принципиальная возможность построения бортовой многопозиционной когерентной радиолокационной системы, антенные позиции которой расположены на летательных аппаратах. Для этого положение в пространстве каждой антенной позиции должно быть определено с точностью  $1/6$  длины волны.

2. Достаточно высокое качество изображения наблюдаемых объектов, определяемое уровнем бо-

ковых лепестков диаграммы направленности общей антенны, достигается при общем числе ЛА равном 7. В этом случае не требуется создавать дополнительные антенные модули на ЛА и применять режим формирования радиолограммы, синтезированной на общей апертуре.

3. Если число ЛА составляет 4, 5 и 6, то способ применения дополнительных антенных модулей и режим синтезирования радиолограммы повышают качество изображения объектов и являются необходимыми.

4. При числе ЛА не меньше 7 вблизи главного лепестка диаграммы направленности общей антенны в радиусе 4–5 калибров появляется достаточно низкий уровень боковых лепестков («пустое окружение»), что позволяет применить метод измерения параметров главного лепестка и ввести в обработку реально не существующие «математические модули», которые участвуют в формировании диаграммы направленности наравне с реальными.

### Литература

1. Барышев И.В., Горобец Н.Н., Матюхин Н.И. Бортовая радиолографическая информационная система со сферической среднеапертурной антенной // Механіка та машинобудування. Отделение ме-

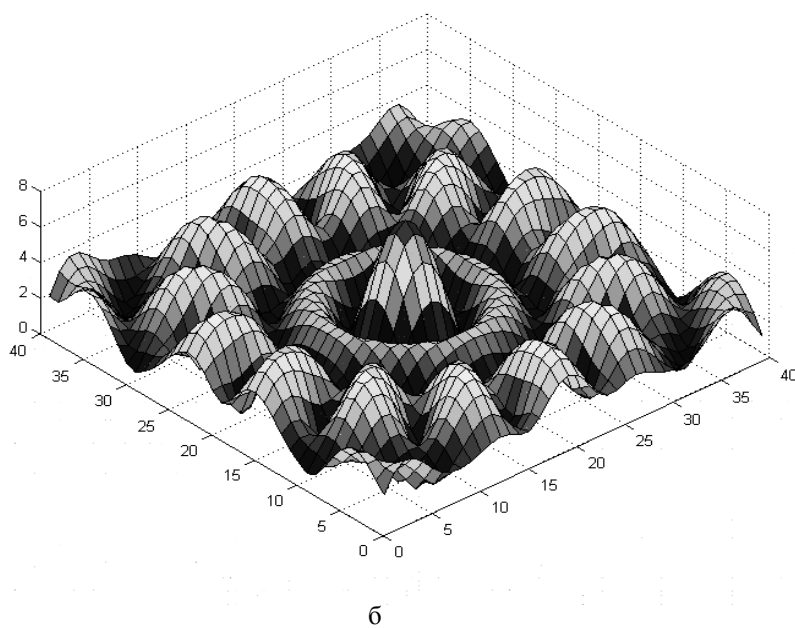
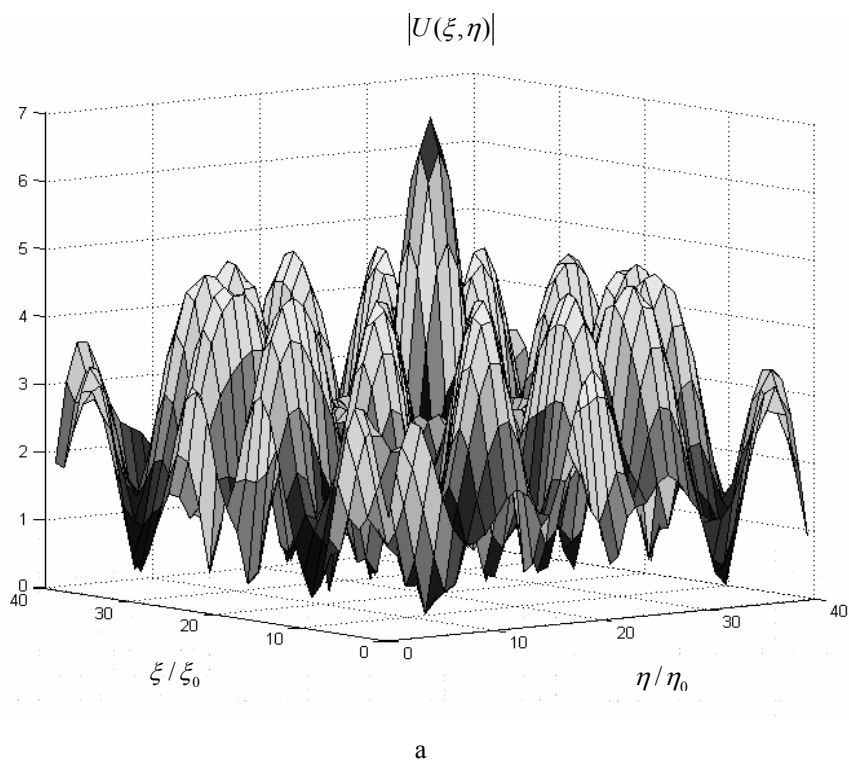


Рис. 2. Диаграмма направленности общей крупноапертурной антенны бортовой кооперативной радиолографической информационной системы с расположением антенных элементов на отдельных ЛА при различных ракурсах ее наблюдения (а и б) ( $N = 7, R_0 = r_0 = 4 \cdot 10^4$  м,  $L = 800$  м,  $\delta \ell = 1,5$  м).

ханики и машиностроения Академии наук Высшей школы Украины. – 2005. – № 2. – С. 301-307.

2. Сафронов Г.С., Сафронова А.П. Введение в радиолографию. – М.: Сов. радио, 1973. – 287 с.

Поступила в редакцию 20.02.2007

**Рецензент:** канд. техн. наук, доц. А.И. Горб, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.