

На основе вышеописанных зависимостей ставится задача определения конструкционных и электрических параметров установки.

Список использованных источников

1. Jason D. Frieman, James H. Gilland, Hani Kamhawi, et al. Wear trends of the 12.5 kW HERMeS Hall thruster, Journal of Applied Physics 130, 2021

2. А.И. Акишин Работоспособность космического оборудования при воздействии собственной внешней атмосферы аппарата, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцина, 2018

3. Семкин Н.Д. Воронов К.Е. Новиков Л.С. Регистрация пылевых и газовых частиц в лабораторных и космических условиях – Самара, 2005 470с.: илл.

Юмашев Илья Владимирович, студент гр. 6271-110401D , yumashil13@gmail.com

УДК 621.396.962

## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИЙ РАВНЫХ ДАЛЬНОСТЕЙ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РЛС

С.А. Воронцова

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** линия равных дальностей, двухпозиционная радиолокационная станция, база, земная поверхность.

Линии равных дальностей [1–2] двухпозиционной РЛС представляют собой сечения эллипсоида с фокусами в точках расположения приёмника ( $R$ ) и передатчика ( $T$ ), то есть сечения поверхности равной дальности для двухпозиционной системы плоскостью просматриваемого участка поверхности Земли.

Получим уравнение линии равных дальностей двухпозиционной РЛС, учитывающее параметры взаимного расположения носителей, для топологии системы, приведённой на рисунке 1.

Носители приёмника ( $R$ ) и передатчика ( $T$ ) могут осуществлять как параллельный полёт, в том числе на разных высотах ( $h_T$ ,  $h_R$ ), так и полёт друг за другом, возможен и смешанный вариант, то есть вектор базы  $B$  может иметь составляющие по всем трём осям координат:

$$B_x < 0; B_y; B_z = h_R - h_T.$$

$$\text{Проекция } B_{xz} = \sqrt{B_x^2 + (h_R - h_T)^2} = B \cos \varphi_z = B_z / \sin \theta_y.$$

Для того, чтобы получить уравнение линий равных дальностей, требуется осуществить переход от системы координат  $xyz$  с началом

координат в точке расположения передатчика (или приёмника), ось  $z$  которой направлена перпендикулярно поверхности Земли, а плоскость  $xy$  расположена параллельно поверхности Земли, к системе координат  $X_{нов.} Y_{нов.} Z_{нов.}$ , связанной с эллипсоидом, с началом координат в точке – посередине между  $R$  и  $T$ , осью  $X_{нов.}$  – вдоль линии базы  $B$  с направлением от точки  $R$  к точке  $T$  и осью  $Z_{нов.}$ , перпендикулярной плоскости, проходящей через ось  $y$  и линию базы  $B$  (рис. 1).

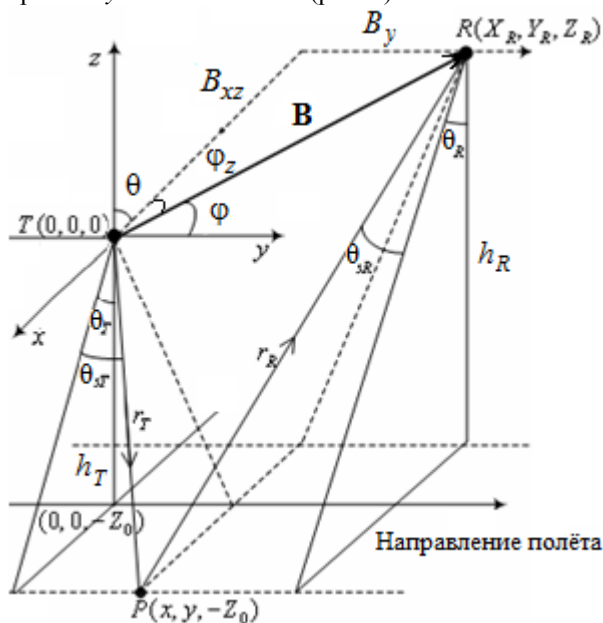


Рисунок 1 – Топология двухпозиционной РЛС

Переход осуществляется путём двух последовательных поворотов осей:

1) поворота осей  $x$  и  $z$  против часовой стрелки вокруг оси  $y$  на угол

$$\theta_y = \pi/2 - \theta = \arcsin\left(\frac{B_z}{B_{xz}}\right) = \operatorname{sgn}(B_z) \cdot \left(\pi - \arccos\left(\frac{B_x}{B_{xz}}\right)\right), \operatorname{sgn} - \text{знак};$$

2) поворота повернутой оси  $x$  и оси  $y$  вокруг оси  $z$  по часовой стрелке на

$$\text{угол } \varphi_z = \pi/2 - \varphi = \arcsin\left(\frac{B_y}{B}\right) = \operatorname{sgn}(B_y) \cdot \arccos\left(\frac{B_{xz}}{B}\right).$$

С учётом вышесказанного уравнение линий равных дальностей двухпозиционной РЛС можно получить как решение системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{(x_{нов.})^2}{a^2} + \frac{(y_{нов.})^2}{b^2} + \frac{(z_{нов.})^2}{b^2} = 1; \quad z = -h_T; \\ x_{нов.} = B/2 + (x \cdot \cos \theta_y - z \cdot \sin \theta_y) \cdot \cos \varphi_z - y \cdot \sin \varphi_z; \\ y_{нов.} = (x \cdot \cos \theta_y - z \cdot \sin \theta_y) \cdot \sin \varphi_z + y \cdot \cos \varphi_z; \\ z_{нов.} = x \cdot \sin \theta_y + z \cdot \cos \theta_y. \end{cases}$$

Здесь первое уравнение – уравнение эллипсоида (поверхности равных дальностей двухпозиционной РЛС), второе – уравнение плоскости просматриваемого участка поверхности Земли, остальные уравнения – выражения для перехода из системы координат  $xuz$  к  $x_{нов.}y_{нов.}z_{нов.}$ . Новые координаты, выраженные через углы  $\varphi$  и  $\theta$  (рис.1), равны:

$$\begin{cases} x_{нов.} = B/2 + (x \cdot \sin \theta - z \cdot \cos \theta) \cdot \sin \varphi - y \cdot \cos \varphi; \\ y_{нов.} = (x \cdot \sin \theta - z \cdot \cos \theta) \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi; \\ z_{нов.} = x \cdot \cos \theta + z \cdot \sin \theta. \end{cases}$$

Уравнением линий равных дальностей является решение уравнения эллипсоида с подставленными в него выражениями для координат, приведённого к виду квадратного уравнения:

$$y = \left( -\bar{b} \pm \sqrt{(\bar{b})^2 - 4 \cdot \bar{a} \cdot \bar{c}} \right) / (2 \cdot \bar{a}),$$

где  $\bar{b} = \frac{-B \cdot b^2 \cdot \sin \varphi_z + (x \cdot \cos \theta_y - z \cdot \sin \theta_y) \cdot (a^2 - b^2) \cdot \sin(2\varphi_z)}{a^2 \cdot b^2}$ ;

$$\bar{c} = \frac{\left( \frac{B}{2} + (x \cdot \cos \theta_y - z \cdot \sin \theta_y) \cdot \cos \varphi_z \right)^2}{a^2} + \frac{(x \cdot \sin \theta_y + z \cdot \cos \theta_y)^2}{b^2} + \frac{(x \cdot \cos \theta_y - z \cdot \sin \theta_y)^2 \cdot \sin^2 \varphi_z}{b^2} - 1; \quad \bar{a} = \frac{\sin^2 \varphi_z}{a^2} + \frac{\cos^2 \varphi_z}{b^2};$$

$a = (r_T + r_R) / 2$  – большая полуось эллипсоида, равная половине суммы наклонных дальностей от передатчика ( $T$ ) и приёмника ( $R$ ), м;

$b = \sqrt{a^2 - (B/2)^2}$  – малая полуось эллипсоида, м.

#### 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.