

**Заключение.** Таким образом, в работе произведено моделирование формирования квадратуры, а также выбраны параметры СИС фильтра для цифровой обработки квадратур сигнала. Достоинством предлагаемого СИС фильтра является отсутствие операций умножения при его реализации.

### Библиографический список

1. СИС фильтр Хогенауэра и их характеристики. [Электронный ресурс]. URL: [www.dsplib.ru/content/cic/cic.html](http://www.dsplib.ru/content/cic/cic.html)

УДК 004.932.721

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕЛЕНГА В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ САМОЛЕТОВ В ВОЗДУХЕ TCAS

А. В. Нестерович, В. А. Сеницын, А. Ю. Яблоков

*НПП «Цифровые радиотехнические системы», г. Санкт-Петербург  
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова*

Приведены результаты исследования алгоритмов определения пеленга 4-х элементной антенной решеткой. Показано, что со слабонаправленными антеннами удастся получить среднеквадратичное значение ошибки измерения пеленга не более  $9^\circ$ , в заданном диапазоне углов места.

**Введение.** В схему измерения пеленга входит ответчик который стоит на воздушном судне, и аппаратура TCAS (Traffic collision avoidance system), бортовая система выдачи информации о воздушном движении и предупреждения столкновений).

TCAS принимает сигнал от ответчика, состоящая из направленной антенны, приемного тракта, цифровой обработки сигнала и вычислителя [1].

Структурная схема модели оценки пеленга представлена на рис. 1.

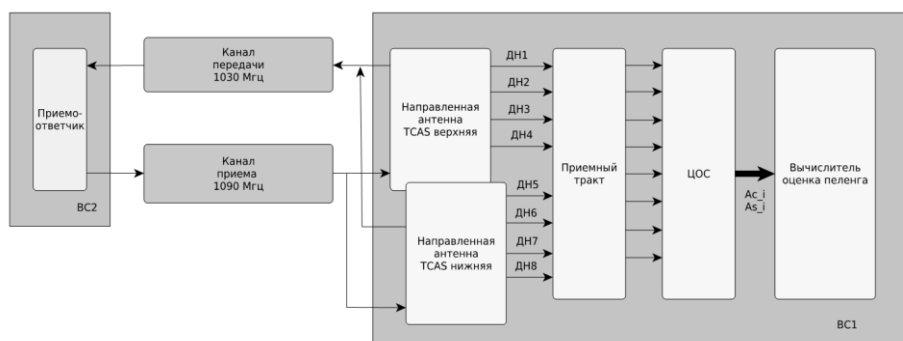


Рис. 6. Структурная схема модели измерения пеленга

Одним из важных элементов измерения пеленга с системе TCAS является антенна и алгоритм вычисления пеленга.

Ошибка пеленга не должна превышать среднеквадратичного значения в 9 град. или 27 град. для пикового значения по всем азимутальным углам и по всем углам места от  $-10$  град.

до +10 град. в отсутствие интерференции и многопутевого распространения, когда антенна установлена в центре круглого экрана с минимального диаметра в 1,2 м (4 фута), который может быть плоским или цилиндрическим.

Для углов места больше, чем 10 град. вплоть до +20 град., ошибка пеленга не должна превышать 15 град. для среднеквадратичного значения или 45 град. – для пикового по всем углам азимута при соблюдении условий, изложенных выше.

Антенна состоит из 4 излучателей, каждый из которых имеет свою диаграмму направленности, максимум ДН1 первого излучателя направлен вперед, ДН2 влево, ДН3 вправо и ДН4 назад.

**Исследуемая модель.** В дальней зоне ДНА  $E_0(\theta, \varphi)$  будет определяться диаграммой одиночного излучателя  $F(r, \theta, \varphi)$  и множителем решетки  $AF(\theta, \varphi)$ .

$$E_0(\theta, \varphi) = F(r, \theta, \varphi) \cdot AF(\theta, \varphi) \quad (1)$$

где  $\theta$  – угол места,  $\varphi$  – азимут.

$$F(r, \theta, \varphi) = j\eta e^{-jkr} / (2\pi r) [\cos(\frac{kl}{2} \cos(\theta)) - \cos(\frac{kl}{2})] \quad (2)$$

где  $r$  – расстояние до антенны,  $\eta$  – сопротивление в свободном пространстве,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $l = \lambda/4$  – длина элемента излучателя.

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{i=0}^3 A_i e^{j(\alpha_i + kd \cdot \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_i))} \quad (3)$$

где  $A_i = A$  – амплитуда – радиус решетки,  $\varphi_i = i \cdot \pi/2$  – углы на которых размещены излучатели,  $\alpha_i$  – фазовые коэффициенты в излучателях решетки.

Обработку диаграмм проведем по формуле, взятой из документа [1]

$$E_{\theta}^{\Sigma} = \sum_{i=0}^3 E_{\theta i} \quad (4)$$

$$E_{\theta}^{\Delta} = (E_{\theta 2} - E_{\theta 0}) + j(E_{\theta 3} - E_{\theta 1}) \quad (5)$$

$$E_{\theta}^{\Sigma} = \sum_{i=0}^3 A e^{jkd \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_i)} \quad (6)$$

$$\alpha = \arg\left(\frac{E_{\theta}^{\Delta}}{E_{\theta}^{\Sigma}}\right) \quad (7)$$

**Практические результаты.** Используя формулы (1 – 3), при  $r = 5$ ,  $\eta = 120\pi$ ,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $l = \lambda/4$ ,  $A_i = 1$ ,  $a = \lambda/5.1$ ,  $\varphi_i = i \cdot \pi/2$ ,  $\alpha_i = \varphi_0 + ka \cdot \sin(\theta_n) \cos(\varphi_n - \varphi_i)$ ,  $\varphi_0 = 0$ ,  $\varphi_n = \pi$ ,  $\theta_n = \pi/2$ , можно рассчитать ДН одиночного излучателя рис. 2.

На рис. 3 приведены ДН с учетом определенного амплитудно-фазового распределения. В реальности амплитудно-фазовые коэффициенты  $A_i$ ,  $\alpha_i$  имеют более сложную зависимость.

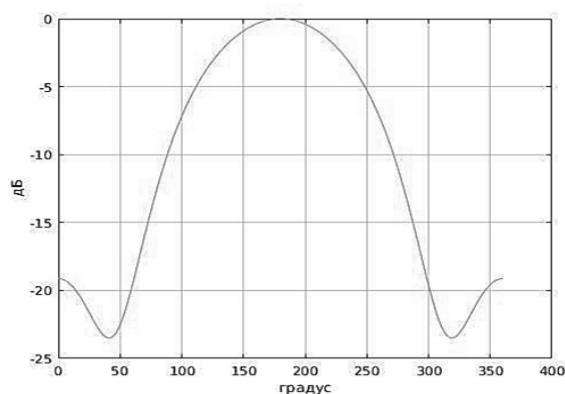


Рис. 7. ДН одиночного излучателя,  $\varphi_n = \pi$

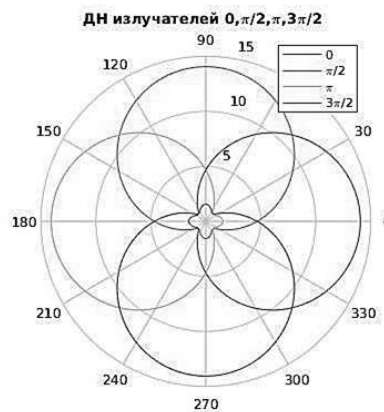


Рис. 8. Расчетные теоретические диаграммы направленности антенны при  $\varphi_n = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$

Используя формулу (6), можно определить закон изменения фазы от азимута.

Результат представлен на рис. 4. Диаграммы направленности реальной антенны TCAS, снятые в безэховой камере на стенде, представлены на рис. 5. Фазовые ДН антенны TCAS представлены на рис. 6.

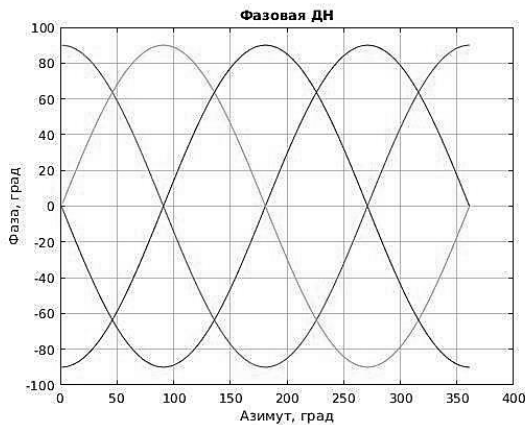


Рис. 9. Теоретические фазовые ДН

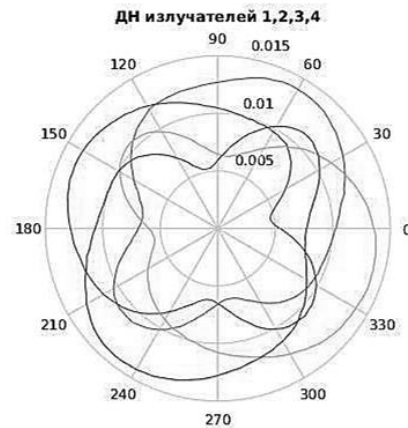


Рис. 10. Снятые в безэховой камере диаграммы направленности антенны TCAS

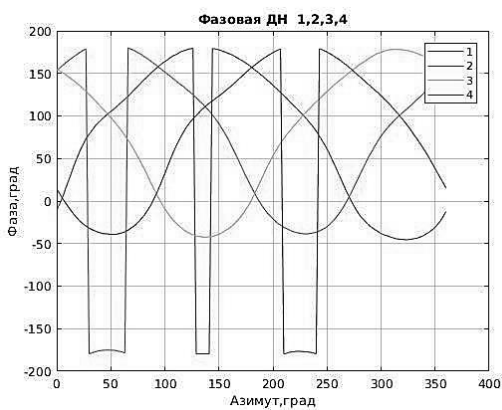


Рис. 11. Фазовые ДН реальной антенны TCAS

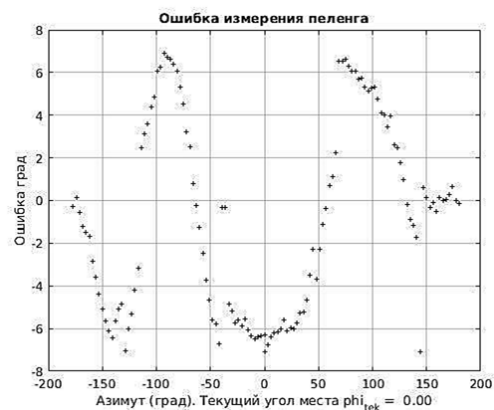


Рис. 12. Ошибка измерения пеленга

Можно отметить, что амплитудные и фазовые ДН отличаются от расчетных. Это объясняется более сложным законом влияния излучателей между собой, связанных с конструктивным исполнением реальной антенны TCAS.

Для оценки точности измерения пеленга возьмем реальные амплитудно-фазовые характеристики антенны. И воспользуемся формулами 4-7 для оценки пеленга. Ошибка измерения пеленга при угле места 0 градусов составляет 8 градусов.

**Заключение.** Таким образом, в работе исследованы формулы для расчета амплитудно-фазовых диаграмм антенны TCAS пеленга.

Также на основании снятых ДНА произведена оценка пеленга предложенным алгоритмом. Алгоритм вычисления пеленга использует комплексное сложение, вычитание, деление, а также вычисление функции арктангенс.

Достоинства метода однозначное вычисление без условных операторов.

Анализ ошибок оценки пеленга показал, что возможно получить требуемые точности.

## Библиографический список

1. *Sampath K. S., Rojas R. G. and Burnside W.D.* Performance of Traffic-Alert Collision Avoidance (TCAS) Antennas in the Presence of Scatterers. The Ohio State University ElectroScience Laboratory, Technical Report 722792-5 Grant NAG-1-1058, July 1993.
2. Performance of Traffic-Alert Collision Avoidance (TCAS) Antennas in the Presence of Scatterers.

УДК 004.932.721

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ И ОТСЛЕЖИВАНИЕ ПОСТОРОННИХ ОБЪЕКТОВ СИСТЕМОЙ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А. С. Попов

*АО «Институт Авиационного Приборостроения «Навигатор»»*

В настоящее время видеонаблюдение стало неотъемлемой частью во многих сферах деятельности, обеспечивая безопасность жизни людей и общественную безопасность. Современные системы наблюдения за объектами предлагают специальные методики отслеживания, позволяя увеличить точность определения и анализа при использовании нескольких камер видеозахвата, что приводит к увеличению итоговой эффективности всей системы отслеживания. В данной статье предлагается использовать подобную систему с целью определения координат воздушных судов для дальнейшего захвата и отслеживания воздушных судов, заходящих на посадку.

Для использования такой системы видеонаблюдения необходимо разместить камеры, формирующие стереоскопическое изображение, на взлётно-посадочной полосе. Система позволит захватывать неподвижные и перемещающиеся в пространстве цели, отслеживая их в поле зрения видеокамер. Наблюдение осуществляется с использованием многочастичного фильтра (МЧФ), обеспечивая непрерывное наблюдение за движущимся объектом. Захват стационарных объектов осуществляется благодаря использованию монохромных матриц и последующего использования алгоритма вычисления порога бинаризации для полутонового изображения, необходимого для обработки чёрно-белых изображений. На основе данных о объектах в кадре вычисляется расстояние до захваченной цели. Кроме того, система позволяет классифицировать объекты, согласно их присутствию в опасной или безопасной зоне. В результате, система позволит оповещать пилотов и диспетчеров о возможном отклонении от курса или возникновению внештатных ситуации при посадке воздушного судна, позволяя избежать несчастных случаев.

Современные методы обнаружения движущихся объектов основываются на особенностях объектов, захваченных в кадре: цвете, текстуре, гранях, движении, форме целей. В описываемой системе определение помех цели осуществляется следующим образом: объект, являющийся помехой для воздушного судна, разбивается на части и захватывается одной из камер стереопары. Затем, с помощью другого устройства захвата в стереопаре, вычисляется расстояние до цели. Для увеличения точности определения используется МЧФ.

В зависимости от состояния помехи (движущейся, или неподвижной), используются различные методы определения. Стационарные объекты возможно обнаружить благодаря совмещённому использованию сегментационного метода водоразделов [1] и метода Оцу [2]. Перемещающиеся объекты возможно обнаружить при вычитании из общего кадра изображения заднего плана, и использовании МЧФ [3]. Определение траектории движения помехи осу-