

УДК 621.396.9(075)

А.А. ОСТАПОВ

Государственное предприятие «Финмаиш», г. Киев, Украина

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ПОИСКОВО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПЕЛЕНГАТОРОВ

Проведен анализ существующих пеленгаторов. Показано, что известные пеленгаторы требуют больших временных затрат на перехват излучений от излучающих объектов (ИО) в диапазоне углов 360° и не обеспечивают перехват кратковременных излучений. Разработан метод построения поисково-измерительного пеленгатора (ПИП), обеспечивающего оптимальный поиск и перехват излучения за минимальное время и высокую точность пеленгования. Получены аналитические зависимости сигнала ошибки ДП, который формируется системой управления ПИП, для перемещения антенных устройств в режиме поиска и перехвата излучений от ИО и в режиме пеленгования ИО.

излучение, излучающий объект, пеленгатор, поисково-измерительный, время перехвата излучения, точность пеленгования, диаграмма направленности, антенна

Поисково-измерительный пеленгатор (ПИП) должен обеспечить оптимальное решение двух взаимоисключающих задач: поиск и перехват излучений от излучающих объектов (ИО) и высокоточное измерение углового направления на ИО. Для решения задачи перехвата излучений от ИО необходимо использовать антенну с широкой диаграммой направленности (ДН), в то время как для решения задачи пеленгования с наиболее высокой точностью требуется применять антенну с узкой ДН. В качестве ИО рассматриваются обзорные РЛС кругового обзора с периодом обзора T_0 . Для типовых РЛС период обзора T_0 равен 5 – 10 с ($T_0 = 5 - 10$ с).

В УКВ, метровом, дециметровом диапазонах задача пеленгования излучений от ИО (РЛС) усложняется тем, что в этих диапазонах применяются антенны с узкими ДН ($\Theta_{0\text{ ио}} = 1 - 4^\circ$), где $\Theta_{0\text{ ио}}$ – ширина ДН антенны ИО. Поэтому угловая скорость поиска направления на ИО (угловая скорость антенны пеленгатора) должна быть согласована с предполагаемой угловой скоростью вращения антенны РЛС.

Для случая, когда известна частота излучения РЛС ($f = \text{const}$), достоверное определение пеленга на ИО может быть определено при условии, что за время T_0 одного обзора антенны РЛС, ДН антенны пеленгатора повернулась на угол, который не превышает угол Θ_0 , где Θ_0 – ширина ДН антенны пе-

леленгатора [1]. В известных системах, в которых используется одна (общая) антенна для решения поставленных выше задач, угловая скорость ω_1 антенны пеленгатора выбирается исходя из условия достоверного пеленгования ИО за каждый обзор антенны РЛС и определяется выражением

$$\omega_1 = \Theta_0 / T_0, \quad (1)$$

где Θ_0 – ширина ДН пеленгатора; T_0 – период обзора антенны РЛС.

Ограничимся исследованием задач поиска и перехвата излучения и измерения углового направления на ИО в одной плоскости, например, горизонтальной. Это соответствует следующим исходным условиям: пеленгатор и ИО (обзорные РЛС) находятся на поверхности Земли или на подвижных объектах (сухопутных, морских). Предполагается, что при размещении пеленгаторов и обзорных РЛС на подвижных объектах решена задача приёма сигнала от обзорных РЛС. Приём сигнала обеспечивается применением систем стабилизации или за счёт использования в пеленгаторе антенны с широкой ДН в вертикальной плоскости.

Время перехвата излучения ИО в угловом секторе α определяется выражением

$$T_{\text{пер}} = \alpha / \omega_1, \quad (2)$$

где α – угловой сектор в плоскости пеленгования.

Выражение (2) при равномерной угловой скорости ω_1 , с учётом (1), преобразуется к виду

$$T_{пер} = \alpha T_0 / \omega_1. \quad (3)$$

На рис. 1 приведены зависимости времени перехвата $T_{пер}$ от величины углового сектора α ($0 \leq \alpha \leq 360^\circ$) для фиксированных значений ширины ДН антенны пеленгатора $\Theta_0 = \Theta_{01}, \Theta_{02}, \Theta_{03}, \Theta_{04}, \Theta_{05}, \Theta_{06}$ и времени обзора антенны РЛС $T_0 = T_{01}, T_{02}$. Для рис. 1, а взяты значения $\Theta_{01} = 1^\circ, \Theta_{02} = 3^\circ, \Theta_{03} = 5^\circ$; для рис. 1, б – значения $\Theta_{04} = 10^\circ, \Theta_{05} = 30^\circ, \Theta_{06} = 50^\circ$. На рис. 1 сплошные линии графиков соответствуют периоду обзора РЛС $T_{01} = 10$ с, пунктирные линии – $T_{02} = 5$ с. При узких ДН пеленгатора ($\Theta_0 = 1 - 5^\circ$) и времени обзора антенны РЛС $T_0 = 5 - 10$ с время перехвата $T_{пер}$ пеленгатором излучений РЛС в угловом секторе 360° достигает больших величин (от 6 до 30 мин.), что не даёт возможности обеспечить эффективный перехват кратковременных излучений.

Автором предложен метод, обеспечивающий эффективный поиск и перехват излучений в угловом секторе 360° при сохранении высокой точности пеленгования. Метод основан на использовании в ПИП двух антенн: поисковой антенны с широкой ДН ($\Theta_{0П} = 30 - 50^\circ$) и измерительной антенны с узкой ДН ($\Theta_{0И} = 1 - 5^\circ$). В ПИП, использующем поисковую и измерительную антенны, которые работают последовательно, реализуются две угловые скорости: ω_1 – измерительной антенны, ω_2 – поисковой антенны, при этом должно выполняться: $\omega_2 \gg \omega_1$.

В рассматриваемом ПИП оптимально реализуются обе поставленные выше задачи. За счёт угловой скорости $\omega_2 \gg \omega_1$ значительно уменьшается время перехвата излучений РЛС, а за счёт угловой скорости ω_1 реализуется высокая точность пеленгования.

Для антенн с электромеханическим управлением вращение поисковой антенны в горизонтальной плоскости может выполняться двумя разными методами.

Первый метод. Поисковая антенна вращается с равномерной угловой скоростью ω_2 , которая определяется выражением

$$\omega_2 = \Theta_{0П} / T_0, \quad (4)$$

где $\Theta_{0П}$ – ширина ДН поисковой антенны; T_0 – период вращения антенны РЛС.

За время $t = nT_0$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i$ поисковая антенна поворачивается на угол

$$\alpha_i = iT_0\omega_2 = i\Theta_{0П}. \quad (5)$$

Второй метод. Поисковая антенна вращается неравномерно. Поисковая антенна время $t_i = T_0$ удерживается с помощью системы управления в заданном направлении α_i и обеспечивает приём сигналов от ИО в диапазоне углов

$$\alpha_{gi} = \alpha_i \pm \Theta_{0П} / 2. \quad (6)$$

Затем поисковая антенна скачком за время $t_2 \ll t_1$ перемещается в новое угловое положение, которое отличается от предыдущего α_i на угол $\Delta\alpha = \Theta_{0П}$. При этом обеспечивается приём сигналов от ИО в диапазоне углов

$$\alpha_{(i+1)g} = \alpha_{gi} + \Theta_{0П} = (\alpha_i + \Theta_{0П}) \pm \Theta_{0П} / 2. \quad (7)$$

Средняя угловая скорость перемещения поисковой антенны ω_2^* определяется выражением

$$\omega_2^* = \frac{\Theta_{0П}}{t_1 + t_2} = \frac{\Theta_{0П}}{T_0 + t_2}. \quad (8)$$

Так как $t_2 \leq T_0$, то (8) преобразуется к виду

$$\omega_2^* = \Theta_{0П} / T_0, \quad (9)$$

и, значит, выполняется условие $\omega_2^* \approx \omega_2$.

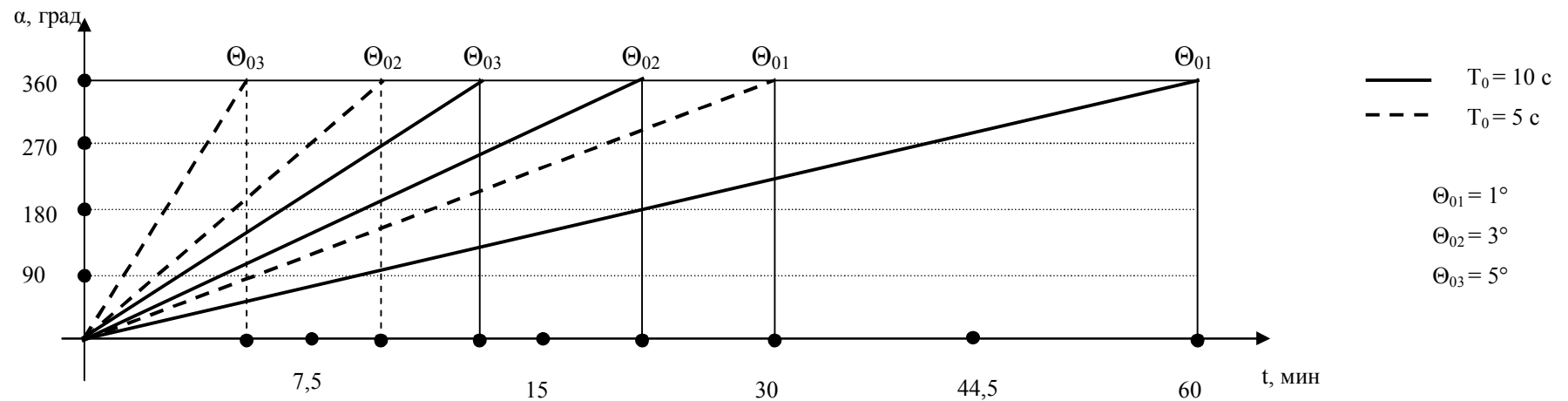
За время t_i поисковая антенна поворачивается на угол

$$\alpha_i^* = iT_0\omega_2^* = i\Theta_{0П} \quad (10)$$

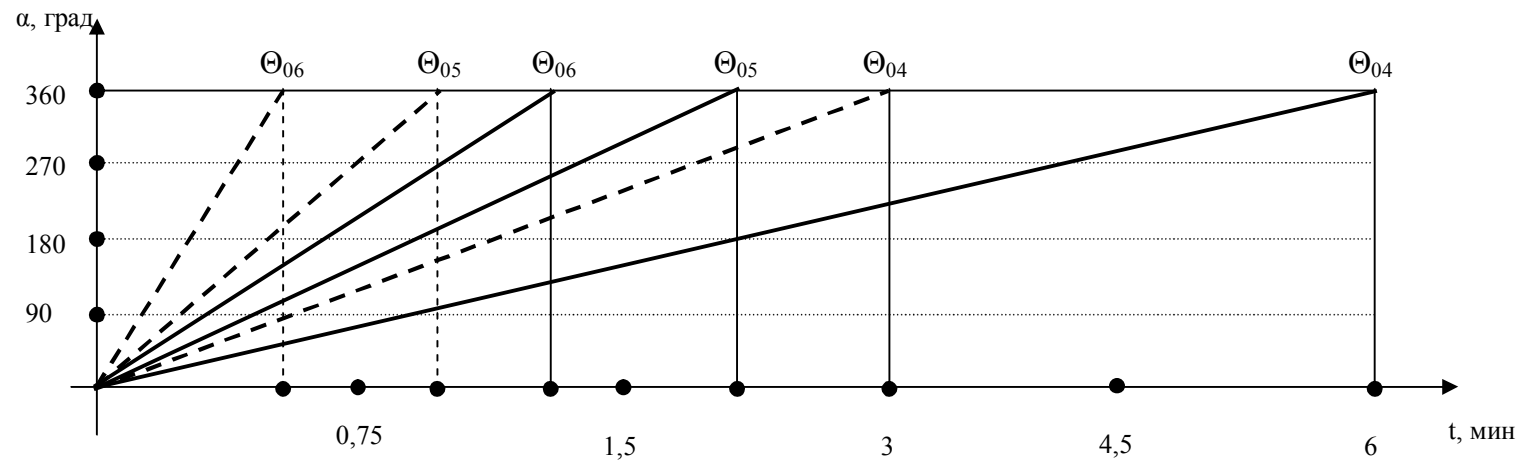
и с учетом выражения (5) имеем

$$\alpha_i^* = \alpha_i. \quad (11)$$

В ПИП целесообразно использовать второй метод перемещения поисковой антенны в горизонтальной плоскости с неравномерной угловой скоростью ω_2^* . На рис. 2 приведена структурная схема предложенного ПИП, который состоит из: поисковой и измерительной антенн, привода антенны, СВЧ коммутатора, двух приёмников, блока определения сектора излучения, блока определения угловых координат, формирователя сигнала ошибки, блока управления и отображения информации.



а



б

Рис. 1. Зависимость времени перехвата $T_{пер}$ от углового сектора α

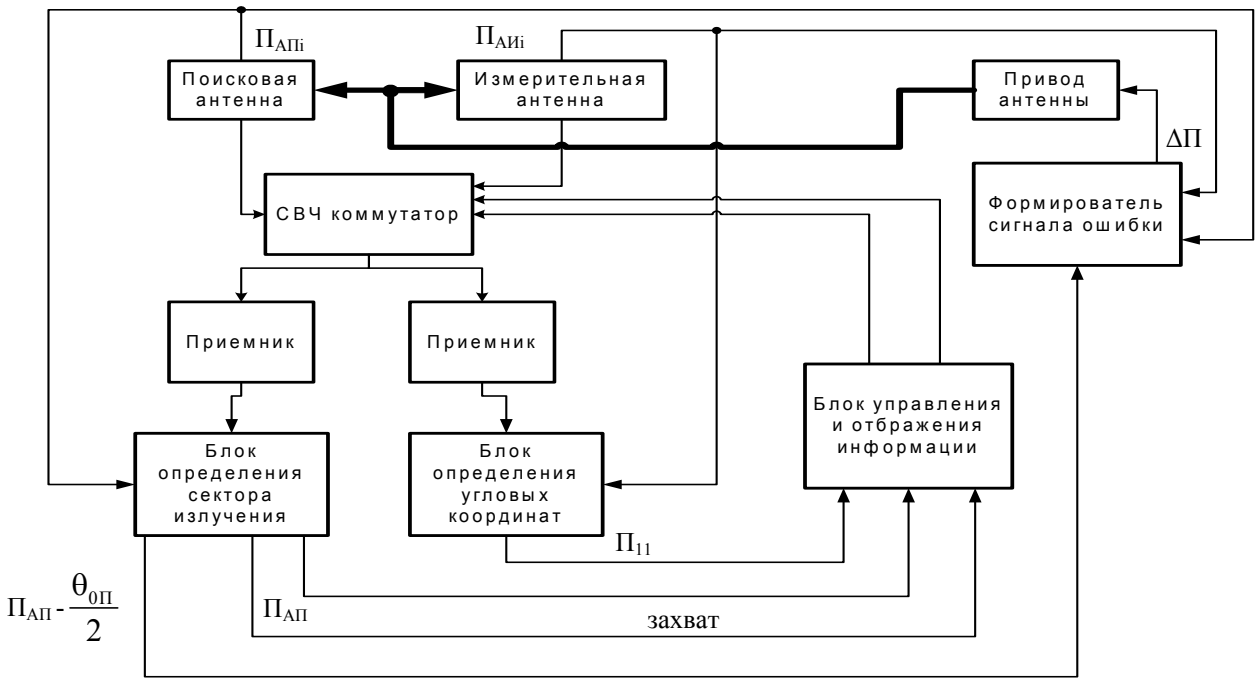


Рис. 2. Структурная схема поисково-измерительного пеленгатора

ПИП работает в двух режимах: режиме поиска сектора излучения (режим 1) и в режиме измерения углового направления на ИО (режим 2).

В режиме 1 поисковая антенна выполняет поиск сигналов ИО в горизонтальной плоскости в диапазоне углов 360° и фиксируется направление, с которого излучаются сигналы ИО. Перемещение поисковой антенны в горизонтальной плоскости выполняется с помощью привода антенны, на который поступает управляющий сигнал – сигнал ошибки $\Delta\Pi$. Сигнал ошибки $\Delta\Pi$ вырабатывается формирователем сигнала ошибки и определяется выражением

$$\Delta\Pi = \left(\Pi_0 + \sum_{i=0}^M \Delta\Theta_2(\omega_2) \right) - \Pi_{АПi}, \quad (12)$$

где $\left(\Pi_0 + \sum_{i=0}^M \Delta\Theta_2(\omega_2) \right)$ – текущее заданное угловое положение поисковой антенны; Π_0 – константа, которая определяет начальное угловое положение (пеленг) поисковой антенны, Π_0 может иметь, например, нулевое значение; $\Theta_2(\omega_2)$ – константа, которая равняется ширине ДН поисковой антенны; $\Pi_{АПi}$ – текущее угловое положение поисковой антенны.

Величина $\Pi_{АПi}$ поступает на формирователь сигнала ошибки с информационного выхода поисковой антенны. Приращение угла $\left(\Pi_0 + \sum_{i=0}^M \Delta\Theta_2(\omega_2) \right)$

на величину угла $\Delta\Theta_2(\omega_2) = \Theta_{0П}$ происходит через интервал времени T_2 , который равняется периоду сканирования T_0 антенны РЛС ($T_2=T_0$). Таким образом, изменение текущего заданного углового положения поисковой антенны за интервал времени T_2 равносильно тому, что поисковая антенна перемещается в горизонтальной плоскости с неравномерной угловой скоростью ω_2^* :

$$\omega_2^* = \left(\Pi_0 + \sum_0^{i+1} \Delta\Theta_2(\omega_2) \right) / T_2 - \left(\Pi_0 + \sum_0^i \Delta\Theta_2(\omega_2) \right) / T_2 = \frac{\Delta\Theta_2(\omega_2)}{T_2} = \frac{\Theta_{0П}}{T_2}. \quad (13)$$

Последовательность обработки сигналов от ИО такая. В момент времени, когда ДН поисковой антенны проходит направление на ИО, сигналы (импульсы) с выхода поисковой антенны через коммутатор поступают на первый приемник.

Если уровень мощности сигнала превышает заданный пороговый уровень, то на выходе первого приемника формируется импульс стандартной амплитуды, который поступает на вход блока определения сектора излучения. В этом блоке формируются сигналы: сигнал захвата излучения; пеленг поисковой антенны – $\Pi_{АП}$; угловое положение измерительной антенны, с которого выполняется её перемещение для поиска сигналов ИО – $\Pi_{АИi} - \Theta_{0П}/2$.

По сигналу захвата излучения блок управления переключает ПИП в режим измерения углового направления на ИО.

В режиме 2 измерительная антенна выполняет поиск сигналов в диапазоне углов $(\Pi_{АП} - \Theta_{0П/2}) \div [(\Pi_{АП} - \Theta_{0П/2}) + \Theta_{0П}]$ и фиксируется направление с которого приходят сигналы от ИО.

Как и в режиме 1 перемещение измерительной антенны в горизонтальной плоскости выполняется с помощью привода антенны, на который поступает управляющий сигнал – сигнал ошибки ДП.

Сигнал ошибки ДП вырабатывается формирователем сигнала ошибки и определяется выражением

$$\Delta\Pi = \left[(\Pi_{АП} - \Theta_{0/2}) + \sum_{i=0}^N \Delta\Theta_i(\omega_i) \right] - \Pi_{Аи}, \quad (14)$$

где $\left[(\Pi_{АП} - \Theta_{0/2}) + \sum_{i=0}^N \Delta\Theta_i(\omega_i) \right]$ – заданное текущее угловое положение измерительной антенны; $\Pi_{АП}$ – пеленг на ИО при определении сектора излучения в режиме 1; $\Delta\Theta_i(\omega_i)$ – константа, которая равняется приращению углового положения измерительной антенны; $\Pi_{Аи}$ – текущее угловое положение измерительной антенны.

Величины $(\Pi_{АП} - \Theta_{0/2})$, $\Pi_{Аи}$ поступают на формирователь сигнала ошибки соответственно с блока определения сектора излучения и информационного выхода измерительной антенны.

Величина $\Delta\Theta_i(\omega_i) \ll \Theta_{0и}$, где $\Theta_{0и}$ – ширина ДН измерительной антенны. Так как приращение текущего углового положения измерительной антенны на величину $\Delta\Theta_i(\omega_i)$ происходит через интервал времени $T_1 \ll T_2$, то это равносильно тому, что измерительная антенна перемещается в горизонтальной плоскости с угловой скоростью ω_1 :

$$\omega_1 = \left[(\Pi_{АП} - \Theta_{0П/2}) + \sum_0^{i+1} \Delta\Theta_i(\omega_i) \right] / T_1 - \left[(\Pi_{АП} - \Theta_{0П/2}) + \sum_0^i \Delta\Theta_i(\omega_i) \right] / T_1 = \frac{\Delta\Theta_i(\omega_i)}{T_1}. \quad (15)$$

Последовательность обработки сигналов от ИО такая же, как в режиме 1. Сигналы (импульсы) с выхода измерительной антенны через коммутатор

поступают на второй приёмник. По сигналам второго приёмника блок определения угловых координат определяет пеленг на ИО, который определяется выражением $\Pi_{11} = \sum_{i=1}^m \Pi_{Аи} / m$, где m – число обработанных импульсов. Пеленг Π_{11} вырабатывается в угловом стробе, который формируется следующим образом

$$\Pi_{стр} = \Pi_{к.стр} - \Pi_{н.стр}, \quad (16)$$

где $\Pi_{н.стр}$ – начало строба; $\Pi_{к.стр} = \Pi_{Аи1}$; $\Pi_{к.стр}$ – конец строба, $\Pi_{к.стр} = \Pi_{н.стр} + \Theta_{0и}$; $\Theta_{0и}$ – константа, которая равна ширине ДН измерительной антенны на выбранном уровне мощности.

На индикаторных устройствах блока управления и отображения информации отображается: в режиме 1 – угловой сектор в котором находится ИО ($\Pi_{АП} \pm \Theta_{0П/2}$); в режиме 2 – пеленг на ИО (Π_{11}).

Выводы

Предлагаемый ПИП обеспечивает:

- 1) значительное уменьшение временных затрат на перехват сигналов ИО в диапазоне углов 360° ; при использовании поисковой антенны с широкой ДН ($\Theta_{0П} = 30 - 50^\circ$) время перехвата сигналов ИО в диапазоне углов 360° уменьшается более чем в 10 раз по сравнению с пеленгатором, в котором используется одна антенна с узкой ДН ($\Theta_{0и} = 1 - 5^\circ$);
- 2) высокую точность пеленгования за счёт использования измерительной антенны с узкой ДН ($\Theta_{0и} = 1 - 5^\circ$).

Целесообразно использовать предложенный ПИП для перехвата излучений на предельных дальностях в пределах радиогоризонта и на загоризонтных трассах.

Литература

1. Казаринов Ю.М. и др. Радиотехнические системы. – М.: Сов. радио, 1968. – 640 с.

Поступила в редакцию 13.10.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.